



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL**

Ricardo Hister de Castro

Lajeado, junho de 2018

Ricardo Hister de Castro

ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Douglas Ferreira Velho

Lajeado, junho de 2018

Ricardo Hister de Castro

ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Me. Douglas Ferreira Velho - orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Profa. Dra. Emanuele Amanda Gauer
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Profa. Ma. Rebeca Jéssica Schmitz
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, junho de 2018

AGRADECIMENTOS

Chegando ao fim de mais uma etapa na vida, um objetivo a ser alcançado. Este trabalho de conclusão de curso me ensinou muitas coisas, busquei e corri atrás de muitas informações nestes últimos meses, sempre querendo aprender mais para que um dia pudesse pôr em prática esta experiência adquirida.

Tenho muitos objetivos que quero conquistar nesta nova caminhada, objetivos que me deram inspiração e vontade para seguir em frente, como o desejo de ser um grande profissional, de aprender mais, de poder ser mais altruísta, podendo ajudar ao próximo, de poder dar as pessoas que estão ao meu redor, muito mais do que tive.

Por tudo isto gostaria de agradecer a toda a minha família por todo apoio que me deram, pela ajuda em momentos difíceis, pelas alegrias em todos estes anos de faculdade, pela compreensão em momentos que não pude estar presente. São grande parte de minha motivação para crescer como pessoa e como profissional nesta nova etapa que está por vir. Acredito que a base para tudo é a nossa família, é quem nos ensina, nos demonstra o caminho certo a percorrer na vida.

Quero agradecer também a minha namorada, Angélica Herbert, que sempre me apoiou nesta caminhada, me deu mais força e vontade para querer crescer e buscar meus objetivos me ajudando em momentos difíceis, sempre me motivando.

Agradeço também a todos os professores que me ensinaram a cada aula como ser um profissional e uma pessoa melhor.

Ao meu professor mestre Douglas Ferreira Velho, pela orientação que me deu em todo este período, me ajudando com trocas de ideias, repassando seu conhecimento e sempre disponível para me atender.

Agradeço também aos funcionários do LATEC (Laboratório de Tecnologias da Construção) da Univates, por todo o apoio na realização dos ensaios.

Aos amigos e colegas que auxiliaram nesta caminhada para que eu buscasse meus objetivos.

RESUMO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em grandes quantidades por novas obras, por reformas, erros de construção, entre outros fatores. Estes na maioria das vezes acabam sendo despejados em terrenos baldios, aterros ou locais impróprios, sem nenhum tipo de fiscalização ou cuidado com os arredores, podem acabar trazendo problemas, como entupimento de valas, insetos, estéticos e que podem acabar gerando incômodos aos arredores. Por conta destes problemas e pensando em um destino que possa ser dado ao resíduo de obra, o trabalho objetivou um estudo para a adição do resíduo de construção e demolição em concreto não estrutural. Uma pesquisa a respeito do tema foi realizada para que se tenha um embasamento sobre os resíduos de construção e demolição, suas normas e aplicações. Uma análise em cima do concreto com uso de RCD foi realizada com alguns ensaios nos agregados naturais e no agregado de RCD, teste como o de granulometria, massa específica dos agregados e testes de resistência à compressão, absorção de água no concreto, entre outros ensaios. Substituindo o agregado graúdo convencional pelo RCD nas porcentagens de 10%, 30%, 50% e 100%, obteve-se resultados onde foi possível determinar que o concreto com adição de RCD com o aumento da porcentagem de substituição, obteve perdas de resistência na compressão e pouca perda na tração, o que outros autores também conseguiram constatar. É possível destacar também a absorção de água, onde comparado com o concreto convencional, o concreto com uso de RCD tem uma taxa de absorção maior, o que justifica uma pré-molhagem dos agregados antes de uma concretagem. Para atender a resistência de 20 MPa, o concreto atingiu a resistência necessária até a substituição de 50% pelo RCD.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição. Concreto. Agregado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Britador da empresa Eco Mantelli - 1	47
Figura 2 – Britador da empresa Eco Mantelli - 2	47
Figura 3 – Resíduos de construção e demolição da empresa Eco Mantelli	48
Figura 4 – Prensa hidráulica do Latec.....	59
Figura 5 – RCD limpo e seco	63
Figura 6 – Separação do RCD para a sua composição	64
Figura 7 – Diagrama de dosagem do concreto de referência	74
Figura 8 – Corpos de prova do concreto com adição de RCD	76
Figura 9 – Corpos de prova cortados após 28 dias de cura.....	77
Figura 10 – Resistência do concreto x idade de rompimento.....	78
Figura 11 – Resistência do concreto à tração por compressão diametral em 28 dias	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição da fonte geradora do RCD no Brasil	31
Gráfico 2 – Composição do RCD	64
Gráfico 3 – Composição do RCD em Ribeirão Preto/SP	65
Gráfico 4 – Curva granulométrico do agregado miúdo	67
Gráfico 5 – Curva granulométrico do agregado graúdo natural	68
Gráfico 6 – Curva granulométrico do RCD	69
Gráfico 7 – Resistência do concreto referência em função da idade	73
Gráfico 8 – Absorção de água do concreto x tempo	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de RCD em algumas cidades do Brasil	22
Tabela 2 – Estimativa de geração de RCD por mesorregião do Rio Grande do Sul para o ano de 2014	22
Tabela 3 – Composição média do RCD no Brasil	23
Tabela 4 – Quantidade de RCD coletado no Brasil e em regiões	23
Tabela 5 – Requisitos gerais para RCD destinado à pavimentação	26
Tabela 6 – Requisitos específicos para RCD destinado a pavimentação	26
Tabela 7 – Requisitos para RCD destinado ao preparo de concreto sem função estrutural	27
Tabela 8 – Determinação do tipo e frequência dos ensaios.....	28
Tabela 9 – Perdas de alguns materiais de construção civil em canteiros no Brasil ..	29
Tabela 10 – Consumo de energia estimado para a produção de diferentes materiais de construção (MJ/t).....	30
Tabela 11 – Composição do RCD em algumas cidades brasileiras.....	32
Tabela 12 – Nomenclatura dos cimentos Portland.....	34
Tabela 13 – Classificação do agregado graúdo segundo o DMC	35
Tabela 14 – Módulo de finura para agregados miúdos	35

Tabela 15 – Resistência à compressão do concreto com RCD	39
Tabela 16 – Resistência à tração por compressão diametral concreto com RCD.....	41
Tabela 17 – Resistência à tração por compressão diametral para Lovato do concreto com RCD.....	41
Tabela 18 – Absorção de água e índice de vazios para Gonçalves do concreto com RCD	43
Tabela 19 – Massa mínima por amostra de ensaio.....	49
Tabela 20 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária.....	50
Tabela 21 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova	58
Tabela 22 – Classificação segundo a NBR 15116	66
Tabela 23 – Propriedades granulométricas do agregado miúdo	67
Tabela 24 – Propriedades granulométricas do agregado graúdo natural.....	68
Tabela 25 – Propriedades granulométricas do RCD	69
Tabela 26 – Massa unitária dos agregados ensaiados	70
Tabela 27 – Massa específica dos agregados ensaiados	70
Tabela 28 – Absorção de água dos agregados ensaiados	71
Tabela 29 – Absorção de água do RCD para outros autores.....	71
Tabela 30 – Traços em massa utilizado na produção do concreto de referência.....	72
Tabela 31 – Traços em massa utilizado na produção do concreto com RCD	75
Tabela 32 – Corpos de prova para o concreto de referência	76
Tabela 33 – Corpos de prova para o concreto com adição de RCD	77
Tabela 34 – Corpos de prova para o concreto com adição de RCD	80
Tabela 35 – Absorção de água do concreto por capilaridade	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de resíduos segundo o CONAMA	20
Quadro 2 - Composição da fonte geradora do RCD no Brasil.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DMC	Diâmetro Máximo Característico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PERS-RS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul
RCD	Resíduo de Construção e Demolição

LISTA DE ABREVIATURAS

cm	Centímetros
cm³	Centímetros quadrados
cm³	Centímetros cúbicos
dm³	Decímetros cúbicos

h	Hora
g	Grama
kg	Quilograma
g/cm²	Grama por centímetro quadrado
g/cm³	Grama por centímetro cúbico
kg/m³	Quilograma por metro cúbico
kg/hab.dia	Quilograma por habitantes em um dia
kg/hab/dia	Quilograma por habitantes por dia
m	Metros
m²	Metros quadrados
m³	Metros cúbicos
MJ/t	Megajoule por tonelada
mm	Milímetros
MPa	Megapascal
Mpa/s	Megapascal por segundo
t/dia	Tonelada por dia
t/ano	Tonelada por ano
µm	Micrômetro
N	Newton

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
/	Operação matemática de divisão
X	Operação matemática de multiplicação
>	Maior que
≥	Maior ou igual a
<	Menor que
≤	Menor ou igual a

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivos gerais	16
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 Justificativa	17
1.3 Delimitações	17
1.4 Limitações	18
1.5 Estrutura do trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Resíduos de construção e demolição (RCD)	19
2.2 Geração de RCD	21
2.3 Sustentabilidade do RCD	24
2.4 NBR 15116/2004	25
2.5 Impactos ambientais	29
2.6 Composição do RCD	30
2.7 Concreto, cimento e agregados	32
2.8 Traço para concreto	36
2.9 Concreto com o uso de RCD	37
2.9.1 Propriedades do concreto com o uso do RCD	38
2.9.1.1 Resistência à compressão	38
2.9.1.2 Resistência à tração	40
2.9.1.3 Absorção de água e índice de vazios	42
2.9.1.4 Absorção de água por capilaridade	43
2.10 Uso e aplicações	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 Materiais	45
3.1.1 Agregado miúdo natural	45
3.1.2 Agregado graúdo natural	45
3.1.3 Aglomerante	46
3.1.4 Água	46
3.1.5 Agregado graúdo reciclado	46
3.2 Métodos	48
3.2.1 Ensaios a serem realizados com os agregados naturais	48

3.2.1.1 Composição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos naturais	48
3.2.1.2 Massa unitária dos agregados graúdos e miúdos naturais.....	50
3.2.1.3....Massa específica e absorção de água dos agregados graúdos naturais	51
3.2.1.4 Massa específica dos agregados miúdos naturais	52
3.2.1.5 Absorção de água dos agregados miúdos naturais.....	53
3.2.2 Ensaio a serem realizados com o cimento	53
3.2.2.1 Massa específica do cimento	53
3.2.3 Ensaio a serem realizados com o RCD	54
3.2.3.1 Coleta das amostras do RCD	54
3.2.3.2 Determinação da composição do resíduo.....	54
3.2.3.3 Composição granulométrica do RCD	55
3.2.3.4 Massa unitária do RCD.....	55
3.2.3.5 Massa específica e absorção de água do RCD	55
3.2.4 Método de dosagem do concreto	55
3.2.4.1 Traço do concreto	56
3.2.5 Ensaio do concreto no estado fresco	57
3.2.5.1 Consistência do concreto	57
3.2.5.2 Massa específica do concreto.....	57
3.2.6 Ensaio do concreto no estado endurecido.....	58
3.2.6.1 Resistência à compressão.....	58
3.2.6.2 Resistência à tração por compressão diametral	60
3.2.6.3 Absorção de água do concreto e índice de vazios	60
3.2.6.4 Absorção de água por capilaridade	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1 Coleta e preparação das amostras do RCD	62
4.1.1 Composição do RCD	63
4.2 Caracterização dos materiais	66
4.2.1 Aglomerante	66
4.2.2 Agregados graúdos e miúdos.....	66
4.2.2.1 Granulometria	66
4.2.3 Massa unitária	70
4.2.4 Massa específica.....	70
4.2.5 Absorção de água	71
4.3 Propriedades do concreto	72
4.3.1 Definição do traço e dosagem do concreto de referência	72
4.3.2 Definição do traço e dosagem do concreto com RCD.....	74
4.3.3 Confeção dos corpos de prova.....	75
4.3.4 Ensaio de compressão	77
4.3.5 Ensaio de tração por compressão diametral.....	79
4.3.6 Absorção de água e índice de vazios.....	80
4.3.7 Absorção de água por capilaridade	81
5 CONCLUSÃO	83
REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICE.....	90

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores geradores de resíduos no mundo é a construção civil. Um setor que acaba deixando muitos restos de obras. Segundo Batista (2009), os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) vem sendo descartados em terrenos baldios, locais impróprios, que acabam causando danos ao meio ambiente. O material que hoje é descartado pode ser reutilizado e introduzido novamente ao mercado, com grande potencialidade de uso. Tendo uma nova utilização, pode diminuir o descarte incorreto que é dado ao material.

Para o Neville e Brooks (2013), o uso do RCD no concreto também é de grande interesse, tanto em aspectos econômicos, ambientais ou para novos estudos que se saiba cada vez mais de suas propriedades físicas. Outro aspecto que pode influenciar na utilização do RCD é o uso da matéria-prima para o agregado natural, pois sua fonte é limitada e em muitos países as taxas para que se tenham novas pedreiras é de um custo elevado. Outro fator é o descarte dos resíduos de obras, que acaba gerando custos às empresas, fazendo com que novas alternativas possam ser elaboradas.

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307, os geradores de resíduos devem dar um correto destino ao descarte de seu material, então deve-se observar diversos aspectos para que se possa minimizar o impacto na geração de resíduos de construção e demolição (BRASIL, 2012).

Em uma obra convencional ocorre muito desperdício e acúmulo de materiais, desde o início do processo até sua finalização. Um destino adequado a

estes resíduos deve ser analisado para que se consiga minimizar os problemas ambientais e tornar as obras mais sustentáveis, pensando no reuso do material.

Aterros ilegais ou a disposição incorreta dos resíduos de obra podem ocasionar sérios problemas ambientais, pois são um acúmulo de sujeira, lugares onde podem se criar insetos, animais ou qualquer coisa que traga algum tipo de risco aos moradores. Existe também os riscos de contaminação, dependendo do material que está sendo colocado no solo, podem haver contaminantes químicos nos resíduos.

Uma forma sustentável de reduzir estes resíduos ou aterros que são criados para a destinação deste material, é a reutilização destes resíduos em um concreto não estrutural dentro da construção civil, de acordo com Gonçalves (2001). Algo pouco utilizado hoje no Brasil por conta de receios que se tem com o seu uso, que pode acabar alterando a capacidade estrutural do concreto por conta de se ter agregados de diversos tipos presentes no RCD. Testes e ensaios que comprovem a capacidade do concreto com o uso de RCD são interessantes nestes casos, para que se tenha uma melhor informação a respeito deste material.

Segundo Nicolau (2008), algumas das possibilidades para uso do RCD é em obras ou produtos ligados a pavimentação, produção de concretos magros sem fins estruturais, blocos, pré-moldados, pré-fabricados, como pavers, mourões, meio-fios entre outras situações onde não se necessita de um grande desempenho mecânico.

O estudo do RCD para observar fatores físicos e capacidades mecânicas do concreto com a adição do resíduo, pode dar novas alternativas de uso para o material, fazendo com que ele retorne ao mercado e não seja desperdiçado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de substituição de agregados do concreto convencional, por materiais de resíduos de construção e demolição (RCD).

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho serão:

- a) avaliar a granulometria, a massa específica, massa unitária dos agregados naturais;
- b) avaliar a composição, a granulometria, a massa específica, massa unitária e absorção de água dos agregados de RCD;
- c) avaliar a massa específica, consistência, absorção de água, resistência à compressão, resistência à tração, índice de vazios, para diferentes traços do concreto contendo RCD;
- d) realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos;
- e) determinar se os traços propostos são adequados para uso.

1.2 Justificativa

O reuso do RCD para outras finalidades, é um assunto que vem sendo pesquisado nos últimos anos. Uma alternativa sustentável, pois o planeta possui reservas minerais que um dia podem se extinguir, com isso deve-se trabalhar com alternativas para que se tenha uma diminuição desta extração dos recursos naturais.

Uma boa alternativa pode ser encontrada nos resíduos que são recolhidos em obras ou demolições e que são repassados em um britador, onde a sua granulometria é controlada, tornando-se um agregado com uso em situações onde não se precisa de resistência estrutural. Pode-se diminuir ou eliminar a disposição destes materiais em aterros, fazendo com que um novo destino dado para ele se torne lucrativo, incentivando assim empresas a aderir a este processo de reciclagem.

1.3 Delimitações

Este estudo estará limitado aos agregados encontrados na região central do Rio Grande do Sul e aos agregados do tipo RCD para a cidade de Venâncio Aires/RS onde foi coletado. As dosagens ensaiadas com a substituição do agregado gráudo natural

pelo agregado graúdo reciclado foram nas proporções de 10%, 30%, 50% e 100%. Um concreto para ser sem função estrutural segundo a NBR 15116 (2004) deve ter classe de 15 MPa. Foi definido o cimento para o estudo, como sendo o CP-IV 32-RS.

1.4 Limitações

Não serão utilizados resíduos de concreto armado convencional, pré-fabricado, solos, metais, resinas, colas, tintas, madeira, vidros, plástico, gesso, pavimento asfáltico, fiação elétrica ou materiais que possam, em função de sua origem, apresentar contaminação, para evitar solubilização e lixiviação do concreto.

1.5 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo contém as seguintes informações. Uma breve introdução do tema abordado, os objetivos gerais e específicos, a justificativa do porquê está sendo feito este trabalho, algumas limitações encontradas e a estrutura da pesquisa.

O segundo capítulo, consiste em uma revisão bibliográfica do tema proposto, onde será realizado um estudo sobre os resíduos de construção e demolição, o concreto e seus agregados, das normas vigentes, do traço para diferentes tipos de concretos e sobre alguns usos.

O terceiro capítulo apresenta e descreve os métodos e materiais utilizados na pesquisa.

No quarto capítulo se encontra os resultados e discussões a respeito do trabalho, com a descrição deles e devidas comparações.

No quinto capítulo se encontra a conclusão do trabalho com observações a respeito dos resultados encontrados e se atendem aos objetivos do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos de construção e demolição (RCD)

A construção civil tem sido de grande importância para o desenvolvimento da humanidade nos últimos anos, grandes avanços tecnológicos que auxiliam no aumento do número de obras fazem com que a cada dia, novas construções se ergam e outras antigas acabam sendo demolidas ou reformadas. Todo este material que resta destas construções pode ser colocado como resíduo de obra.

O resíduo de obra ou RCD, pode ser classificado como:

Resíduos de construção e demolição: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2012, p. 805).

Como se pode perceber, muitos materiais que são retirados de obras, podem ser considerados resíduos de construção e demolição. Nem todos têm um uso de interesse para o reuso em algum elemento que possa ser reutilizado dentro do setor da construção, porém todos estes itens podem ser separados e classificados da maneira correta e com isto, se torna mais fácil dar um destino a estes resíduos.

A Resolução do CONAMA, nº 307 (BRASIL, 2012), classifica os resíduos de acordo com algumas classes e sua destinação, que podem ser vistos no Quadro 1.

Quadro 1 - Classes de resíduos segundo o CONAMA

<p>Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.</p>	<p>Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros.</p>
<p>Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.</p>	<p>Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.</p>
<p>Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.</p>	<p>Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.</p>
<p>Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.</p>	<p>Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.</p>

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Brasil (2012, p. 806)

A classificação do resíduo que pode ser utilizado em obra é a classe A, pois são os materiais que são inertes, não alterariam a mistura em que fossem colocados, porém deve ser realizado testes nestes resíduos para saber se o seu uso é permitido em determinada situação.

Segundo um relatório realizado pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), a construção civil representa cerca de 40 a 70% dos resíduos gerados por cidades de médio e grande porte. Ainda se tem a disposição incorreta deste tipo de material no Brasil, causando assim muitos problemas para as cidades, como entupimentos de canalizações, problemas de saúde pública, entre outros (ABRECON, 2015).

2.2 Geração de RCD

A indústria da construção é uma grande geradora de resíduos e grande parte destes materiais não possui local adequado para ser depositado ou por muitas vezes acaba sendo deixado em pontos que se tornam montes de resíduos provenientes de obras e podem trazer sérios problemas para os arredores. Muito se deve este problema pelo fato de ser ainda um setor onde se trabalha sem equipamentos adequados, tornando o serviço manual o que acarreta em erros durante o processo (SANTOS, 2007).

Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PERS-RS), o RCD pode ser proveniente de diversos meios, como escavações em terrenos, novas obras, reformas e demolições, e é de responsabilidade do gerador destes resíduos dar um destino correto para estes materiais (PERS-RS, 2014).

A indústria da construção civil gera grandes quantidades de resíduos, contudo ela não pode parar por este motivo, em virtude de ser responsável pelo crescimento em infraestrutura e o desenvolvimento de diversos setores (ROCHA, 2006). Para John e Agopyan apud Lovato (2007), a variabilidade na estimativa de resíduos em um mesmo país, se dá por diferentes tipos de conceitos que cada autor coloca em suas pesquisas. Veja na Tabela 1, dados sobre a geração do RCD em algumas cidades do Brasil.

Tabela 1 - Geração de RCD em algumas cidades do Brasil

Cidade	População (milhões de habitantes)	Geração de RCD (ton/dia)	Produção de RCD (kg/hab.dia)	Fonte dos dados
São Paulo	10	10866	1,08	Oliveira et al. apud Lovato (2007)
Guaratinguetá	0,1	60	0,60	
Taubaté	0,23	230	1,00	
Porto Alegre	1,29	350	0,27	Costa apud Lovato (2007)
Salvador	2,2	2750	1,25	Nunes apud Lovato (2007)
Rio de Janeiro	5,9	863	0,14	
Ribeirão Preto	0,46	1043	2,27	Leite (2001)
São José do Rio Preto	0,32	687	2,15	
Jundiaí	0,29	712	2,46	
Santo André	0,63	1013	1,61	
Belo Horizonte	2,01	1200	0,60	
Vitória da Conquista	0,24	310	1,29	
São José dos Campos	0,5	733	1,47	

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Lovato (2007, p. 25)

Em seguida serão apresentados na Tabela 2, índices de geração de RCD da construção no estado do Rio Grande do Sul, pois o resíduo a ser pesquisado no presente trabalho é proveniente da região. Por se ter uma dificuldade em obter dados a respeito da geração do RCD, não existe um controle exato destes resíduos, portanto os dados elaborados levam em conta uma taxa de 520 kg/hab.ano, segundo o PERS-RS (2014).

Tabela 2 – Estimativa de geração de RCD por mesorregião do Rio Grande do Sul para o ano de 2014

Messorregião	População Urbana (2014)	Número de municípios na Messorregião	Geração de RCD (t/ano)	Geração Messorregião
Centro Ocidental Rio-grandense	440.279	31	228.945	4,71%
Centro Oriental Rio-grandense	558.776	54	290.563	5,98%
Metropolitana de Porto Alegre	4.616.652	98	2.400.659	49,42%
Nordeste Rio-grandense	963.850	54	501.202	10,32%
Noroeste Rio-grandense	1.390.106	216	722.855	14,88%
Sudeste Rio-grandense	758.100	25	394.212	8,11%
Sudoeste Rio-grandense	614.378	19	319.476	6,58%
Total do Rio Grande do Sul	9.342.141	497	4.857.913	-

Fonte: Adaptado pelo autor com base em PERS-RS (2014, p. 167)

Pode-se observar que houve uma estimativa de 4.857.913 toneladas no ano de 2014 para a geração de RCD no Rio Grande do Sul e a região que mais produz o resíduo é a metropolitana de Porto Alegre, onde se concentram o maior número de obras. Outro fator que deve ser observado é a composição dos resíduos, observe na Tabela 3, como é a composição do RCD no país.

Tabela 3 – Composição média do RCD no Brasil

Componentes	Porcentagem
Argamassa	63
Concreto e blocos	29
Outros	7
Orgânicos	1
Total	100

Fonte: IPEA (2012, p. 16)

A maior parte dos resíduos de obra vem da argamassa, que representa 63% do total de resíduos, ela é utilizada muito em rebocos de parede, assentamento de tijolos ou blocos, etapas que se não houver um cuidado, o desperdício pode ser grande. Concreto e blocos vem logo após com 29% do material de obra que é desperdiçado como resíduos.

Para a coleta do RCD no Brasil, pode ser observado a Tabela 4 logo abaixo.

Tabela 4 – Quantidade de RCD coletado no Brasil e em regiões

	2015		2016	
	RCD coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)	RCD coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Brasil	123.721	0,605	123.619	0,600
Região Norte	4.736	0,271	4.720	0,266
Região Nordeste	24.310	0,43	24.387	0,428
Região Centro-Oeste	13.916	0,901	13.813	0,882
Região Sudeste	64.097	0,748	63.981	0,741
Região Sul	16.662	0,57	16.718	0,568

Fonte: Adaptado pelo autor com base em ABRELPE (2016, p. 36)

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o país coletou cerca de 45,1 milhões de toneladas

de RCD em 2016. Para a coleta de RCD nas regiões do país, pode ser observado na Tabela 4, onde quem mais coleta os resíduos de obras é a região sudeste, pois se trata de uma parte do país em que grandes obras acontecem, o que implica em uma geração maior de resíduos e a fiscalização em obras é maior que em outros estados. Já a região norte é onde acontece o menor número de coleta (ABRELPE, 2016).

Existe um potencial a ser explorado na geração dos resíduos da construção civil, é o que os dados apresentados representam, porém para que isso se torne algo útil e que seja bem elaborado, métodos de trabalho deveriam ser criados, coleta de resíduos e a reciclagem do RCD deveriam ser pensados para que o uso dado ao agregado seja de acordo com suas especificações.

2.3 Sustentabilidade do RCD

Deve-se dar uma atenção a sustentabilidade dentro da construção civil, pois como o setor da construção é um dos que mais degrada o meio ambiente, retirando muita matéria-prima para a fabricação de materiais que são utilizados em obras e ao mesmo tempo gerando resíduos que podem ser reaproveitados para serem utilizados em outras situações (BATISTA, 2009). Preocupando-se com este cenário, algumas alternativas devem ser pensadas para que a extração da matéria-prima presente no meio ambiente possa ser minimizada.

Uma descrição sobre maneiras de trabalhar com resíduos de construção é definida por Stolz (2008), onde ele comenta que o RCD pode ser reciclado, incinerado ou aterrado, e que o melhor modo de diminuir o uso de recursos naturais é a reciclagem do RCD.

Segundo Batista (2009), os principais benefícios que o reuso do RCD proporciona são:

- a) a extração de recursos naturais não renováveis do meio ambiente pode ser diminuída;

- b) o consumo de materiais como, o petróleo e a energia elétrica diminuem, pois não se torna mais necessário a produção destes itens desde a sua origem e a emissão de gases poluentes na atmosfera também diminui;
- c) áreas que antes eram utilizadas como bota-fora ou aterro, agora podem ser usadas para outras finalidades;
- d) agregar um marketing ao processo realizado, colocando que se está trabalhando com uma matéria-prima sustentável, tornado uma fonte de faturamento o resíduo que pode ter um custo menor em relação ao agregado convencional (CARNEIRO apud BATISTA, 2009).

2.4 NBR 15116/2004

A NBR 15116 (ABNT, 2004), agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, define o uso do RCD para concreto sem função estrutural ou em camadas de pavimentação. Algumas utilidades apontadas pela norma para este tipo de concreto são em relação ao uso em enchimentos, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas, mourões e placas de muro. Estes tipos de uso geralmente têm classes de resistência 10 MPa e 15 MPa.

Os resíduos que podem ser trabalhados nesta norma são os de classe A, que foram explicados no item 2.1 anteriormente. A NBR 15116 (ABNT, 2004), explica que o agregado vindo da classe A, pode ser subdividido em duas situações: agregados de concreto, onde na sua composição de agregados graúdo, existe no mínimo 90% de massa com fragmentos do cimento Portland e rochas ou agregado misto, onde a fração graúda contém menos de 90% de massa com fragmentos do cimento Portland e rochas.

Se o uso para o RCD for para pavimentação, ele deve atender aos dados da Tabela 5, que explica todos os requisitos que o agregado deve ter para que seja aceito seu uso em obras de pavimentação.

Tabela 5 – Requisitos gerais para RCD destinado à pavimentação

Propriedades		Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
		Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica		Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão máxima característica		≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma		≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm		Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais de mesmas características	2		Anexo A	Anexo B
	Materiais não minerais de características distintas	3		Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2		ABNT NBR 9917	

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004, p. 4)

No uso para pavimentação, o RCD pode ser utilizado na execução de diferentes camadas, este deve ser caracterizado de acordo com a Tabela 6, que podem ser ensaiados por testes previstos na NBR 9895 (ABNT, 2016).

Tabela 6 – Requisitos específicos para RCD destinado a pavimentação

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004, p. 4)

Se o uso para o RCD for para concreto sem função estrutural, ele deve atender aos dados da Tabela 7, onde se encontram os requisitos para a aceitação do resíduo.

Tabela 7 – Requisitos para RCD destinado ao preparo de concreto sem função estrutural

Propriedades		Agregado reciclado classe A				Normas de ensaios	
		ARC		ARM			
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)		≥ 90	-	≥ 90	-	Anexo A	-
Absorção de água (%)		≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17	ABNT NBR NM 53	ABNT NBR NM 30
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1				ABNT NBR 9917	
	Sulfatos	1				ABNT NBR 9917	
	Materiais não minerais	2				Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila	2				ABNT NBR 7218	
	Teor total máximo de contaminantes	3				-	
Teor de material passante na malha 75 µm (%)		≤ 10 %	≤ 15%	≤ 10%	≤ 20%	ABNT NBR NM 46	

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004, p. 5)

Outra característica que deve ser verificada segundo a NBR 15116 (ABNT, 2004) é a classificação granulométrica do agregado para o concreto sem função estrutural. Os testes para se verificar a granulometria do RCD devem ser de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Uma observação colocada pela norma é de que existe a necessidade de uma pré-molhagem dos agregados que atendam a Tabela 7, pois o RCD costuma ser mais poroso que um agregado convencional e acaba absorvendo mais água que um agregado natural. Valores em torno de 80% da absorção de água do RCD em uso é o adequado.

Para se ter um controle de qualidade do RCD, deve ser realizado ensaios com uma formação de lotes para cada graduação granulométrica (bica corrida, brita zero, brita um, areia, etc). A NBR 15116 (ABNT, 2004), coloca que o controle deve ser pela produção do mês do agregado, considerando um volume máximo de 1.500 m³ para cada lote, ou o que ocorrer primeiro.

Na caracterização do RCD, é necessário se realizar coleta e preparação de amostras, que são as seguintes:

a) amostras parciais: coletadas aleatoriamente ao menos duas vezes por dia e por tipo de resíduo sólido (ARM ou ARC). Cada amostra parcial deve conter cerca de 10 kg e deve ser coletada do material processado, de acordo com a ABNT NBR NM 26;

(...)

b) amostra de campo: é formada reunindo-se várias amostras parciais em número suficiente para os ensaios de laboratório. Cada lote de agregado reciclado deve ter uma amostra de campo formada por no mínimo 10 amostras parciais;

c) amostra de ensaio: porção obtida por redução da amostra de campo, conforme a ABNT NBR NM 27, utilizada em ensaios de laboratório. A amostra de ensaio deve ser de no mínimo 60 kg. (NBR 15116, ABNT, 2004, p. 6)

Os ensaios a serem realizados para a caracterização, podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 – Determinação do tipo e frequência dos ensaios

Propriedades		Método de ensaio	Frequência de ensaios	
			Concreto sem função estrutural	Camada de pavimento
Composição granulométrica		ABNT NBR 7181	Não se aplica	A cada lote
		ABNT NBR NM 248	A cada lote	Não se aplica
Teor de material passante na peneira 75 µm		ABNT NBR NM 46	A cada lote	Não se aplica
Absorção de água	Agregado graúdo	ABNT NBR NM 53	A cada lote	Não se aplica
	Agregado miúdo	ABNT NBR NM 30	A cada lote	Não se aplica
Torrões de argila e materiais friáveis		ABNT NBR 7218	A cada lote	Não se aplica
Índice de forma (agregado graúdo)		ABNT NBR 7809	Não se aplica	A cada lote
Índice de suporte Califórnia e expansibilidade		ABNT NBR 9895	Não se aplica	A cada lote
Composição do agregado graúdo		Anexo A	A cada lote	
Percentual de materiais não minerais no agregado miúdo		Anexo B	A cada lote	
Teor de cloretos		ABNT NBR 9917	Uma vez por mês ou 6 000 m ³	Não se aplica
Teor de sulfatos		ABNT NBR 9917	Uma vez por mês ou 6 000 m ³	

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004, p. 7)

O lote do RCD é aceito quando cumprir com todas as prescrições desta norma.

2.5 Impactos ambientais

Os resíduos provenientes de obras acabam trazendo um impacto ambiental para o meio ambiente, por isto foi criado a resolução do CONAMA nº 307, de acordo com ela se deve “estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais” (BRASIL, 2012, p. 805). Formas de minimizar o impacto ambiental na construção civil devem ser pensadas, pois podemos ter problemas futuros sem essa conscientização.

Números que representam este consumo são apresentados por John (2000), onde a construção consome cerca de 14% a 50% dos recursos naturais do planeta. Estima-se que no Brasil é gasto por ano em torno de 210 milhões de toneladas de agregados e o consumo de cimento é de 35 milhões de toneladas. Por ser uma indústria que produz grandes obras, a construção é o maior consumidor desses recursos no planeta, o que gera um impacto ambiental muito grande.

Outro ponto que eleva o impacto ambiental gerado pela construção civil é o desperdício de alguns materiais, que pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 – Perdas de alguns materiais de construção civil em canteiros no Brasil

	Cimento	Aço	Blocos e tijolos	Areia	Concreto usinado
Min.	6	2	3	7	2
Máx.	638	23	48	311	23
Mediana	56	9	13	44	9

Fonte: JOHN (2000, p. 20)

Caso o desperdício fosse diminuído, a construção civil conseguiria ter um crescimento maior, obras poderiam ter um custo mais baixo. A Tabela 10 apresenta o consumo da energia para produção de alguns materiais ligados a construção civil.

Tabela 10 – Consumo de energia estimado para a produção de diferentes materiais de construção (MJ/t)

Produto	Mínimo	Máximo
Cimento via seca	1,2	2,0
Cimento via úmida	4,9	7,4
Madeira natural	4,0	7,0
Compensado	18,0	-
Tijolo cerâmico	2,8	5,8
Gesso	1,4	7,4
Vidro plano	10,2	21,6
Tintas látex (base seca)	76,0	77,7
Poliestireno	105,0	122,8
Aço	25,7	39,0
Alumínio	145,0	261,7

Fonte: JOHN (2000, p. 21)

Como pode ser visto na Tabela, a construção civil possui materiais que necessitem de um grande consumo de energia. Caso não se necessite extrair algum tipo de matéria-prima no meio ambiente, realizando o reuso de materiais, haveria uma diminuição do gasto energético gerado pela construção civil.

Outro ponto a ser visto é a poluição gerada pela indústria da construção. De acordo com John (2000), a cal hidratada libera CO₂ na atmosfera, algo em torno de 785 kg de material poluente para uma tonelada de cal hidratada produzida, já o clínquer, produzindo uma tonelada do material é liberado de 820 a 870 kg de material poluente para a atmosfera. Com o reuso de materiais vindos da construção, muitos destes dados poderiam ser diminuídos, gerando um impacto menor na poluição atmosférica. Pode-se perceber que a construção civil é uma grande poluidora, devendo ser pensado em alternativas que consigam diminuir esses dados negativos.

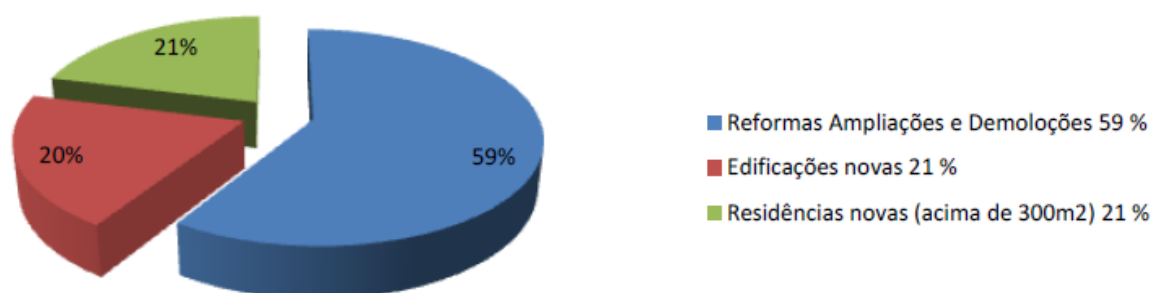
2.6 Composição do RCD

A composição dos resíduos de obras pode ser de diversos materiais, onde segundo Santos (2007), essa diversidade traz uma grande variabilidade e heterogeneidade a este material. Os resíduos podem ser compostos por madeira,

materiais betuminosos, plásticos, papéis, concreto, cerâmica, metais, argamassas, entre outros materiais encontrados em obra.

É importante conhecer a fonte geradora dos resíduos da construção, para saber de onde vem o RCD que está sendo trabalhado. No Gráfico 1, pode ser visto alguns dados levantados de onde chegam os materiais, estes podem ser de reformas, ampliações e demolições, edificações novas e residências novas (acima de 300m²).

Gráfico 1 - Composição da fonte geradora do RCD no Brasil



Fonte: SILVA (2014, p. 9)

Segundo Silva (2014), é mais interessante o uso de resíduos vindos de construções novas, pois quando se tem a geração de resíduos em demolições, normalmente estes vêm com pinturas e se for usado em ambientes que estão em contato com o solo, pode acabar contaminando o terreno.

Alguns dados levantados por diversos autores, podem ser observados na Tabela 11, que demonstra a composição do RCD em algumas cidades.

Tabela 11 – Composição do RCD em algumas cidades brasileiras

Classificação segundo Resolução CONAMA n° 307	MATERIAL	Origem (% do volume)					
		Aracaju	Salvador	São Carlos	Maringá	Blumenau	Florianópolis
A	Concreto e argamassa	36,23	53	27	53,99	18,42	43,27
	Cerâmica	14,42	14	40	10,08	60,67	21,01
	Agregado grúdo/miúdo	0,35	0	0	19,04	0	0
	Pedra/Rocha	2,48	0	10	0,28	0,82	0
	Solo e areia	19,96	22	9	8,37	5,25	2,42
	Telhas Cer./Fibro cimento	0	5	2	0,24	0,49	0
B	Madeira	1,28	0	7	1,49	9,25	1,21
	Metais	0,06	0	2	4,58	0,20	0
	Papel/Papelão	0,74	0	0	0	0	0
	Plástico	0,34	4	1	0	0	0
	Vidro	0,04	0	1	0	0	0
C	Gesso	3,39	0	1	0	0	0
	Outros classe C	19,85	0	0	0	0	0
D	Latas de tintas e outros	0,04	0	0	0	0	0
	Outros classe D	0,82	0	0	0	0	0,22
-	Outros	0	2	0	1,93	4,90	31,84
TOTAL		100	100	100	100	100	100
Fonte dos dados		DALTRO FILHO apud SCREMIN (2007)	CARNEIRO apud SCREMIN (2007)	MARQUES NETO apud SCREMIN (2007)	SAPATA apud SCREMIN (2007)	SARDA apud SCREMIN (2007)	XAVIER apud SCREMIN (2007)

Fonte: Adaptado pelo autor com base em SCREMIN (2007, p. 27)

Claramente é possível perceber com os dados das pesquisas, que a principal classe do RCD, é a classe A, que conforme explicado anteriormente são os resíduos que podem ser usados como agregados em um concreto com RCD (SCREMIN, 2007).

2.7 Concreto, cimento e agregados

O concreto com o passar dos anos não se alterou muito em suas composições principais, se manteve com o uso do aglomerante, agregados e água, porém sua tecnologia evoluiu. Testes e ensaios foram realizados para que sua resistência fosse cada vez maior, a interface entre o agregado e pasta aperfeiçoada, os equipamentos para a produção do concreto possuem maior tecnologia para facilitar sua colocação, compactação e produção (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O concreto convencional é utilizado em grande quantidade por diversas obras e construções, é definido por Neville e Brooks (2013, p. 2), como “qualquer produto

ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto da reação entre um cimento hidráulico e água”. O concreto pode ter diversas composições, que podem conter adições que modifiquem a suas características, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, agregados de RCD, polímeros, fibras, entre outros.

O aglomerante utilizado no concreto, é o cimento Portland. Segundo Ambrozewicz (2012), este material pode ser definido como um aglomerante hidráulico, que concede qualidade, durabilidade e desempenho no concreto. O cimento entrando em contato com a água passa por um processo químico que contribui para unir os agregados, resultado em um material endurecido, o concreto de cimento Portland.

Uma das principais matérias-primas do cimento é o clínquer, material que vem da mistura de argila e calcário. Sem o cimento não seria possível termos o concreto, responsável pela ligação e união dos materiais. Outros materiais também estão presentes em sua composição, que de acordo com Neville (2013), podem ser, sílicas, alumina e outros materiais que contenham óxido de ferro.

Existem diversos tipos de cimento, cada um com configurações diferentes. Na Tabela 12 abaixo podem ser vistos os tipos existentes.

Tabela 12 – Nomenclatura dos cimentos Portland

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação
Cimento Portland Comum (NBR 5732)	Cimento Portland Comum	CP I	25	CP I - 25
			32	CP I - 32
			40	CP I - 40
	Cimento Portland Comum com Adição	CP I - S	25	CP I - S - 25
			32	CP I - S - 32
			40	CP I - S - 40
Cimento Portland Comum (NBR 11578)	Cimento Portland Composto com Escória	CP II - E	25	CP II - E - 25
			32	CP II - E - 32
			40	CP II - E - 40
	Cimento Portland Composto com Pozolana	CP II - Z	25	CP II - Z - 25
			32	CP II - Z - 32
			40	CP II - Z - 40
	Cimento Portland Composto com Filer	CP II - F	25	CP II - F - 25
			32	CP II - F - 32
			40	CP II - F - 40
Cimento Portland de Alto-Forno (NBR 5735)		CP III	25	CP III - 25
32	CP III - 32			
40	CP III - 40			
Cimento Portland Pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25	CP VI - 25
32	CP VI - 32			
Cimento Portland Alta Resistência Inicial (NBR 5733)		CP V - ARI		CP V - ARI
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos (NBR 5737)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I 32 RS
			32	
			40	
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (NBR 13116)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I 32 BC
			32	
			40	
Cimento Portland Branco (NBR 12989)	Cimento Portland Branco Estrutural	CPB	25	CPB - 25
			32	CPB - 32
			40	CPB - 40
	Cimento Portland Branco Não Estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para Poços Petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G	CPP - classe G

Fonte: Adaptado pelo autor com base em AMBROZEWICZ (2012, p. 87)

Outro constituinte do concreto são os agregados graúdos, que segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), o agregado graúdo pode ser definido como os grãos que passam pela peneira de 75mm e ficam retidos na peneira de 4,75mm. Segundo Ambrozewicz (2012), o agregado graúdo como pedra britada pode ter uma classificação comercial segundo o seu diâmetro máximo característico (DMC), a Tabela 13 apresenta estes valores.

Tabela 13 – Classificação do agregado graúdo segundo o DMC

Brita 0	4,8 mm a 9,5 mm
Brita 1	9,5 mm a 19 mm
Brita 2	19 mm a 25 mm
Brita 3	25 mm a 38 mm
Brita 4	38 mm a 76 mm

Fonte: Adaptado pelo autor com base em AMBROZEWICZ (2012, p. 51)

O material que representa o agregado graúdo no concreto convencional é a brita, a qual pode ter diferentes espessuras e formatos, dependendo do que se quer, deve se ter uma atenção ao tipo de agregado selecionado, pois pode alterar a trabalhabilidade do concreto, o seu consumo de água e cimento. O agregado graúdo tem a função de diminuir o consumo do cimento do concreto, também deve ter uma resistência similar ao concreto e tem a função de diminuir a retração se fosse utilizado só o cimento (AMBROZEWICZ, 2012).

O outro agregado utilizado no concreto é o miúdo pode ser descrito pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009), como sendo o grão que consegue passar pela peneira de 4,75mm, sendo que o mais utilizado no concreto convencional é a areia. Um material fino que possui diferentes módulos de finura e granulometrias, onde segundo Ambrozewicz (2012) os módulos de finura para agregados miúdos podem ser classificados de acordo com a Tabela 14. O agregado miúdo tem a função de preencher os vazios dentro do concreto, que ficam entre os agregados graúdos.

Tabela 14 – Módulo de finura para agregados miúdos

Módulo de Finura	
Muito fina	de 1,35 a 2,25
Fina	de 1,71 a 2,85
Média	de 2,11 a 3,38
Grossa	de 2,71 a 4,02

Fonte: Adaptado pelo autor com base em AMBROZEWICZ (2012, p. 51)

É muito importante o uso de agregados no concreto para diminuir seu custo, já que o cimento é o material mais caro. Aumentando os agregados e dosando com uma quantidade correta de cimento, se consegue um concreto de boa qualidade e baixo valor.

2.8 Traço para concreto

Para Neville e Brooks (2013), há diversos fatores que influenciam na definição do traço para o concreto, em geral as características do concreto endurecido são fornecidas pelo projetista estrutural. Já as características do concreto fresco, são determinadas pelo tipo de obra que está sendo executada, pelo transporte que será usado e o lançamento usado para o concreto. Com estas observações pode ser definido a dosagem ou traço que se é necessário para determinada situação.

Já para Mehta e Monteiro (2014), o traço do concreto pode ser definido como sendo um estudo de dosagem do aglomerante utilizado e os procedimentos necessários para se obter uma proporção dos materiais que constituem o concreto, atendendo os requisitos determinados. Esta expressão pode ser dada em volume ou em massa, mas para que se tenha um rigor maior no traço, a proporção deve ser dada em massa seca de materiais.

Os materiais que são utilizados no concreto e que participam de um estudo de dosagem, são, aglomerantes, como o cimento, os agregados miúdos e graúdos, a água, os aditivos e as adições.

Segundo Helene e Tutikian (2011), no Brasil não se tem um consenso sobre o estudo do traço. A inexistência de um estudo sobre o assunto, levou a diversos pesquisadores a proporem seu próprio método de dosagem, estes estudos realizados levaram os nomes das instituições a qual os pesquisadores trabalhavam. Alguns métodos de dosagem bastante conhecidos e utilizados são: o método de dosagem IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) proposto por Ary Frederico Torres em 1927, o método INT (Instituto Nacional de Tecnologia) proposto por Lobo Carneiro, o método Iters (Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul) proposto por Eládio Petrucci, o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) proposto por Ary Torres e Carlos Rosman.

Todos os métodos possuem suas particularidades nos estudos, porém, é comum entre todos, os cálculos da resistência do concreto; a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinar tipo e classe do cimento; a evolução da resistência com o tempo; o consumo de água para

determinar a trabalhabilidade requerida; ajustes em laboratório e correções em obra (HELENE e TERZIAN, 1992).

2.9 Concreto com o uso de RCD

O RCD pode gerar grandes montes de resíduos sem local específico para serem depositados. Antigamente não se dava muita importância para este material, atualmente ele já começa a ser enxergado como um material com uso dentro de obras. O histórico do RCD é curto comparado ao concreto convencional, teve uso após o final da segunda Guerra Mundial, onde os escombros foram britados e utilizados como agregados na reconstrução das construções no local, uma forma de reuso que conseguisse atender também a demanda de material na época (LEVY, 2007).

Por volta de 1946 foi que se teve a primeira aparição do concreto com uso de resíduos. Como pode se perceber a necessidade de se ter uma grande quantidade de material para produzir os agregados do concreto gerou uma alternativa no concreto com resíduos de construção e demolição.

De acordo com Cabral (2007), países da Europa e Japão tem um histórico melhor no que se diz respeito ao uso do RCD como alternativa para a substituição de outros tipos de agregados mais comuns utilizados no concreto. Por conta do seu espaço físico estes países tiveram que encontrar alternativas para estes resíduos, sendo grande parte do RCD utilizado ainda hoje em camadas de pavimentação em base e sub-base.

Entretanto os resíduos de obra ainda são pouco utilizados no concreto. Segundo Cabral (2007), menos de 1% do concreto produzido na Europa substitui o agregado convencional por RCD. Existe muita insegurança na substituição do agregado no concreto, por conta do resíduo de obra ser um material que muitas vezes possa conter algum tipo de substância que vá reagir no concreto e acabar causando algum dano.

Mehta e Monteiro (2014) comenta que em 2009, na Europa, gerou-se aproximadamente 850 milhões de toneladas de RCD e nos Estados Unidos houve

uma geração de 170 milhões de toneladas em 2003. Números que demonstram como outros países já vêm pensando no uso do RCD para diversas aplicações.

O RCD pode ter diferentes composições dependendo do lugar onde está sendo coletado, ele pode ter mais cerâmica, mais argamassa, concreto, diferentes tipos de materiais que são encontrados em único lugar. Por isto é mais complicado o uso deste material em alguma peça que exija mais resistência, na maioria dos casos ele é utilizado para peças e estruturas que sejam sem função estrutural.

2.9.1 Propriedades do concreto com o uso do RCD

2.9.1.1 Resistência à compressão

Segundo Leite (2001), é muito importante um estudo em cima dos agregados utilizados no concreto para verificar se pode existir alguma alteração na sua resistência à compressão, pois eles correspondem a 80% da mistura do concreto.

Todo o processo pode fazer diferença no valor do agregado reciclado, desde a sua coleta, transporte, separação, britagem, até o seu uso, pois dependendo de sua aplicação, podem ser escolhidos diferentes tipos de resíduos de obra e tamanhos de agregados. De acordo com Silva (2014), os resíduos de obras proveniente de alvenaria quando usados no concreto acabam diminuindo sua resistência por causa da porosidade e quando se for usar mais resíduos de argamassa ou concreto, a perda de resistência não se acentua muito.

Zordan (1997) comenta que se for realizado a substituição do agregado convencional pelo RCD em 20% no concreto, a resistência não se altera muito, porém com o aumento desta substituição podem gerar perdas nas resistências das peças produzidas com o RCD.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), valores em torno de 40% de substituição não alteram muito as propriedades do concreto com RCD comparado ao convencional. Com uma substituição de 100% do agregado natural pelo RCD, o concreto pode ter reduções aproximadas de 25% para a resistência à compressão.

Sagoe-crentsil et al. apud Leite (2001) realizaram pesquisas com o uso do agregado reciclado no concreto e encontraram valores de 13% menor em concretos com o uso do RCD no agregado graúdo e no agregado miúdo natural. Na mesma pesquisa houve a substituição de todos os agregados graúdos e miúdos pelo RCD e se chegou a valores de 32% a menos na resistência.

De Niro et al. apud Leite (2001) realizaram substituições no agregado graúdo do concreto e concluíram que conforme aumentava a substituição se diminuía a resistência à compressão, utilizando um traço de 100% na substituição a redução foi de 20%, enquanto para 30% de substituição a redução foi de 4%.

Leite (2001) também realizou ensaios com a substituição do agregado miúdo reciclado e o agregado graúdo reciclado, encontrando valores que são comparados com o concreto de referência. Observando os valores na Tabela 15, o concreto com uma relação a/c de 0,60 obteve um ganho de resistência aos 28 dias de 6% na situação de 100% de substituição do agregado miúdo enquanto que na situação em que foi substituído 100% do agregado graúdo, o concreto obteve uma perda de resistência de 20%.

Tabela 15 – Resistência à compressão do concreto com RCD

a/c	Traço	Fc (MPa)			
		3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
0,6	Referência	27,6	28,2	31,6	41,6
	100% AMR - 0% AGR	29	29,7	33,5	44,9
	50% AMR - 50% AGR	26,1	26,7	29,5	38
	0% AMR - 100% AGR	23,3	23,6	25,5	31
	100% AMR - 100% AGR	24,6	25,1	27,4	34,4

AMR - Agregado Miúdo Reciclado AGR - Agregado Graúdo Reciclado

Fonte: Adaptado pelo autor com base em LEITE (2001, p. 187)

Batista (2009) observa que o concreto com o uso de RCD possui um bom desempenho, porém é necessário que o resíduo passe por um tratamento antes de seu uso. Uma pesquisa feita por Chen et al. apud Batista (2009), demonstrou que houve uma diferença na resistência à compressão do concreto com RCD quando o agregado era lavado antes de ser concretado. O concreto com o RCD lavado teve

uma resistência de 90% do concreto de referência enquanto o concreto com RCD não lavado, os valores não passaram de 75% da resistência.

2.9.1.2 Resistência à tração

Para Leite (2001) a resistência à tração do concreto não é uma característica mecânica de extrema importância, pois a principal resistência do concreto é à compressão, porém é interessante o seu estudo, pois como se está testando um novo material, valores diferentes do concreto convencional podem aparecer.

De acordo com os estudos realizados por Mehta e Monteiro (2014), onde houve uma substituição de 100% do agregado natural pelo RCD, o concreto com o uso de resíduos obteve uma redução aproximada de 10% para a tração direta e na flexão.

Já Mansur et al. apud Leite (2001) avaliaram a substituição do agregado graúdo convencional por resíduos de blocos de cerâmicos e concretos convencionais, onde conseguiu encontrar resultados de 12% para o aumento da resistência à tração por compressão diametral comparando com o concreto de referência. Para os autores, este fato aconteceu devido a forma angular e a textura rugosa dos resíduos, aumentando a aderência na pasta aos agregados.

Os ensaios realizados por Leite (2001) demonstram dados de tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias que podem ser vistos na Tabela 16. Na substituição de 100% do agregado miúdo reciclado o autor encontrou que a resistência aumentou em 17%, enquanto na substituição de 100% do agregado graúdo reciclado houve uma queda na resistência de 7%.

Tabela 16 – Resistência à tração por compressão diametral do concreto com RCD

a/c	Traço	Ft (MPa)
0,6	Referência	3
	100% AMR - 0% AGR	3,5
	50% AMR - 50% AGR	3,2
	0% AMR - 100% AGR	2,8
	100% AMR - 100% AGR	3,3

AMR - Agregado Miúdo Reciclado AGR - Agregado Graúdo Reciclado

Fonte: Adaptado pelo autor com base em LEITE (2001, p. 201)

Nos ensaios realizados por Lovato (2007), para a tração por compressão diametral do concreto, em todos os valores encontrados pelo autor, houve queda na resistência, os dados podem ser vistos na Tabela 17. O menor valor ficou na substituição dos agregados miúdos e graúdos, onde a queda foi de 39%, já com a substituição somente do agregado graúdo a queda foi de 26%.

Tabela 17 – Resistência à tração por compressão diametral para Lovato do concreto com RCD

a/c	Traço	Ft (MPa)
0,6	Referência	2,35
	0% AMR - 50% AGR	2,05
	0% AMR - 100% AGR	1,75
	50% AMR - 0% AGR	2,13
	50% AMR - 50% AGR	1,86
	50% AMR - 100% AGR	1,59
	100% AMR - 0% AGR	1,92
	100% AMR - 50% AGR	1,67
	100% AMR - 100% AGR	1,43

AMR - Agregado Miúdo Reciclado AGR - Agregado Graúdo Reciclado

Fonte: Adaptado pelo autor com base em LOVATO (2007, p. 119)

Estas diferenças encontradas em pesquisas indicam que torna-se interessante o estudo da tração no concreto com adição de RCD, para que se saiba qual o seu comportamento.

2.9.1.3 Absorção de água e índice de vazios

De acordo com Gonçalves (2001), os agregados naturais no concreto possuem um valor alto de densidade, por isso acabam ficando com poucos vazios e absorvem menos água. A porosidade do concreto está muito ligada a argamassa presente nele, muitos agregados de RCD possuem materiais muito porosos, como cerâmicas e argamassas, o que concede ao concreto com o uso de resíduos um alto teor de absorção de água e índice de vazios.

Lovato (2007), realizou uma pesquisa fazendo coletas de resíduos em locais diferentes, para cada coleta ele realizou ensaios de absorção de água, fazendo substituições nos agregados grãos e miúdos. Substituindo 50% do agregado grão e zero do miúdo, ele encontrou valores de 4% e 37% de aumento na absorção, já substituindo 100% no grão e zero no miúdo, foi encontrado 16% e 80% de aumento. Segundo o autor, estas variações ocorrem pela variedade do material, onde em cada coleta a composição pode ser diferente.

Para Sagoe-Crentsil et al. apud Lovato (2007), quando se substitui o agregado grão natural pelo RCD, pode-se encontrar valores em média de 25% no aumento da absorção de água para o concreto.

Gómez-Soberón apud Cabral (2007) encontrou valores de 11,7% para o índice de vazios e 14,3% para a absorção de água, em concretos com a substituição do agregado grão pelo RCD.

Gonçalves (2001) realizou ensaios com dosagens diferentes para encontrar valores de absorção de água e índice de vazios para o concreto com RCD, pode-se observar na Tabela 18, os valores encontrados por ele de acordo com cada substituição.

Tabela 18 – Absorção de água e índice de vazios para Gonçalves do concreto com RCD

Traço	Absorção de Água	Relação Concreto RCD/Concreto Referência	Índice de Vazios	Relação Concreto RCD/Concreto Referência
Referência	5,20%	1,00	12,40%	1,00
100% AMN 100% AGR	6,18%	1,19	14,10%	1,14
50% AMN 50% AMR 100% AGR	6,82%	1,31	14,80%	1,19
50% AMN 50% AMR 100% AGN	6,03%	1,16	13,60%	1,09

AMN - Agregado Miúdo Natural AMR - Agregado Miúdo Reciclado

AGN - Agregado Graúdo Natural AGR - Agregado Graúdo Reciclado

Fonte: Adaptado pelo autor com base em GONÇALVES (2001, p. 125)

Como a alta absorção de água do agregado pode afetar a resistência do concreto, Leite (2001) observou que um dos pontos que devem ser observados, é molhar o RCD antes da concretagem, o que melhora a trabalhabilidade do concreto e o valor do abatimento, pois como o agregado de resíduo absorve muita água, acaba influenciando diretamente na resistência à compressão.

2.9.1.4 Absorção de água por capilaridade

Um fator que está ligado a durabilidade do concreto é a sua absorção de água, quanto maior é a sua absorção menor pode ser a sua durabilidade, por conta que os poros que aparecem dentro do concreto podem ser caminhos para agentes contaminantes, que acessam com o auxílio da água que o concreto pode absorver (SENTENA, 2010).

Sentena (2010) realizou ensaio com o concreto, substituindo o agregado graúdo natural pelo RCD, comparando diferentes porcentagens de substituições com diferentes resistências à compressão do concreto. Com os resultados o autor observou que conforme fosse menor a resistência do concreto, maior era a sua porosidade e conseqüentemente maior seria a sua absorção. No resultado de 50% de substituição com o concreto de 50 MPa, este obteve uma absorção parecida com o concreto de referência.

2.10 Uso e aplicações

A construção civil é uma área que tem características de ser um setor com produtos mais caros, normalmente em obras o custo mais elevado é dos materiais. Silva (2014) descreve que utilizando o RCD no concreto se consegue um produto mais barato do que outros que possuem agregados convencionais, porém este valor pode também estar sujeito ao tipo de tecnologia usada para a produção do RCD, pois alguns processos podem acabar elevando ou baixando o custo do agregado.

Pode-se ver no Quadro 2 algumas aplicações para o RCD em concreto e argamassa. Para cada situação o material deve ser separado de acordo com a espessura do agregado que se deseja.

Quadro 2 - Composição da fonte geradora do RCD no Brasil

PRODUTO	CARACTERÍSTICAS	USO RECOMENDADO
Areia britada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassa de assentamento, alvenaria de vedação, contrapiso, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica inferior a 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, mobiliário, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concreto não estrutural e obras de drenagem.
Brita corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil (blocos de concreto, restos de cerâmica etc.)	Obras de base e sub-base de pavimentação, reforço e subleito de pavimentos, regularização de vias não pavimentadas, aterros e nivelamento topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagem e terraplanagem.

Fonte: SILVA (2014, p. 24)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa do trabalho será descrito os materiais utilizados para a realização dos testes e métodos que foram ensaiados para chegar aos resultados da adição do resíduo de construção e demolição no concreto.

3.1 Materiais

Para chegar aos resultados, uma breve caracterização dos materiais utilizados na mistura será descrita logo em seguida.

3.1.1 Agregado miúdo natural

Para a realização dos ensaios foi utilizado a areia média, onde esta passou por ensaios de granulometria para chegar à composição desejada no uso para o concreto com RCD.

3.1.2 Agregado graúdo natural

O material utilizado como agregado graúdo natural para os ensaios foi a brita de origem basáltica, um material encontrado tipicamente na região do estudo.

3.1.3 Aglomerante

Para o presente trabalho foi utilizado como aglomerante o cimento Portland CP-IV 32 - RS, pois é o cimento que se encontra com maior facilidade no Rio Grande do Sul.

3.1.4 Água

A água usada no presente trabalho, é da CORSAN. A dosagem foi de acordo com cada ensaio. Não será realizado nenhum tipo de teste referente a água.

3.1.5 Agregado graúdo reciclado

O RCD utilizado para o trabalho foi coletado da empresa Eco Mantelli, localizada no interior de Venâncio Aires – RS, onde no local existe um britador que recebe resíduos de obras da cidade, os equipamentos utilizados para a produção do material podem ser vistos nas Figuras 1 e 2. O britador foi comprado da empresa Mapre Equipamento Rodoviários, e é composto por um alimentador vibratório, um britador primário, transportadores de correia e peneira vibratória com separador por granulometria.

Para se obter um agregado reciclado de boa qualidade o material vai passar por testes. Observe na Figura 3 o RCD britado pela empresa.

Figura 1 – Britador da empresa Eco Mantelli - 1



Fonte: Autor (2017)

Figura 2 – Britador da empresa Eco Mantelli - 2



Fonte: Autor (2017)

Figura 3 – Resíduos de construção e demolição da empresa Eco Mantelli



Fonte: Autor (2017)

3.2 Métodos

Nesta etapa serão explicados os métodos utilizados para a elaboração das pesquisas.

3.2.1 Ensaios a serem realizados com os agregados naturais

3.2.1.1 Composição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos naturais

Para a definição da granulometria dos agregados graúdos e miúdos naturais utilizados no concreto, se usou da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Onde para o

procedimento dos testes, as amostras passaram por um quarteamento segundo NBR NM 27 (ABNT, 2001), onde a amostra foi homogeneizada com uma colher de pedreiro, após foi inserida em um cone e despejada sobre uma superfície plana, em seguida foi separado quantidade necessária de material segundo a Tabela 19.

Tabela 19 – Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima nominal do agregado	Massa mínima da amostra do ensaio
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

* Após secagem

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Na sequência foram feitas duas amostras (m_1 e m_2), ambas secas em estufa. Suas respectivas massas foram determinadas. Começando pela amostra m_1 , esta foi peneirada pelo conjunto de peneiras, com abertura da malha em ordem crescente da série normal ou intermediária, que pode ser vista na Tabela 20.

Tabela 20 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Em seguida colocou-se a amostra m_1 sobre a peneira superior e se realizou a agitação das peneiras para que o material ficasse retido em cada granulometria. A massa retida do material em cada peneira foi definida. O somatório de todas não deve diferir de 0,3% de m_1 . O mesmo processo foi realizado com a amostra m_2 .

O agregado miúdo é definido pelo material que fica retido na peneira de 4,75 mm e o agregado graúdo é todo material que passa pela peneira de 75 mm e fica retido na peneira de 4,75 mm, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

3.2.1.2 Massa unitária dos agregados graúdos e miúdos naturais

Para o ensaio da massa unitária dos agregados graúdos e miúdos, foi utilizado a NBR NM 45 (ABNT, 2006), usando o método “C”, onde se separou uma amostra com cerca de 150% do material para encher o recipiente, utilizando o quarteamento já explicado no item 3.2.1.1. O recipiente teve de ser preenchido até transbordar e depois ser nivelado, fazendo com que o material fique dentro do volume do recipiente. Este processo foi realizado para verificar a massa de material

no seu estado solto, existente dentro do recipiente. O cálculo foi realizado utilizando a Fórmula 1 logo abaixo.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{ap} – massa unitária do agregado (g/cm^3)

m_{ar} – massa do recipiente mais o agregado (g)

m_r – massa do recipiente vazio (g)

3.2.1.3 Massa específica e absorção de água dos agregados graúdos naturais

Para determinar a massa específica e a absorção de água dos agregados graúdos naturais, a referência para os testes é a norma NBR NM 53 (ABNT, 2009).

Para realizar os ensaios, foi coletado uma amostra do agregado de DMC até 12,5 mm maior do que 2 kg. Todo o material que passou pela peneira de 4,75 mm foi eliminado. Os agregados que restaram foram lavados para retirar qualquer material fino e após, secados em estufa.

O agregado teve de ser pesado e após submergido em água por um período de 24 h. Em seguida foi retirado e secado com um pano para ser pesado. A amostra foi colocada dentro de um recipiente, este recipiente foi pesado dentro de um tanque com água. Depois a amostra foi secada em estufa e pesada novamente para se obter a massa do agregado seco. Na sequência foi determinado pela Fórmula 2 a massa específica do agregado gráúdo seco e pela Fórmula 3 a absorção de água.

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (2)$$

Onde:

d – massa específica do agregado seco (g/cm^3)

m – massa ao ar da amostra seca (g)

m_a – massa em água da amostra (g)

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A – absorção de água (%)

m_s – massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g)

m – massa ao ar da amostra seca (g)

3.2.1.4 Massa específica dos agregados miúdos naturais

Para determinar a massa específica dos agregados miúdos naturais, se utilizou da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009) para referência dos ensaios. Iniciou-se separando uma amostra de 1 kg de agregado miúdo, após foi colocado a amostra em água por 24 h e na sequência, retirando ela, deixando a secar com a ação do vento. O agregado foi colocado no molde tronco-cônico sendo compactado suavemente com 25 golpes e se observou que o cone se desmoronou depois de algumas tentativas.

Desta amostra de material, foi pesado 500 g e colocado em um frasco, o conjunto teve de ser pesado. Após colocou-se água no frasco com o material e ficou repousando por uma hora, em seguida completou-se com água até a marca de 500 cm³, e a massa do conjunto foi anotada. Depois o material foi retirado do frasco, seco em estufa, resfriado e pesado novamente. Para determinar a massa específica foi utilizado a Fórmula 4.

$$d = \frac{m}{V - V_a} \quad (4)$$

Onde:

d – massa específica aparente do agregado (g/cm³)

m – massa da amostra seca em estufa (g)

V – volume do frasco (cm³)

V_a – volume de água adicionado ao frasco (cm³)

3.2.1.5 Absorção de água dos agregados miúdos naturais

A absorção de água dos agregados miúdos naturais, foi determinada utilizando a norma NBR NM 30 (ABNT, 2001) para referência dos ensaios. Iniciou-se separando uma amostra de aproximadamente 1 kg do agregado miúdo seco, esta foi pesada, após a amostra foi colocada na água por 24 h. Na sequência foi retirada, deixando a secar com a ação do vento. O agregado teve de ser colocado no molde tronco-cônico sendo compactado suavemente com 25 golpes, se na primeira retirada o monte tivesse desmoronado, a areia deveria ser levemente umedecida. Foi realizado mais algumas compactações no molde e quando este desmoronou, a amostra foi pesada. Para se determinar a massa específica, a Fórmula 5 foi utilizada.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

A – absorção de água (%)

m_s – massa ao ar da amostra na condição saturada e de superfície seca (g)

m – massa ao ar da amostra seca em estufa (g)

3.2.2 Ensaios a serem realizados com o cimento

3.2.2.1 Massa específica do cimento

A massa específica do cimento foi ensaiada pela NBR 16605 (ABNT, 2017), onde foi coletado uma amostra do cimento utilizado para os ensaios de aproximadamente 60 g, esta amostra foi inserida no frasco de Le Chateller com o auxílio de um funil, que possui querosene em uma medida determinada, em seguida o frasco foi inclinado e girado suavemente para eliminar as bolhas, após foi submerso em água para equalizar as temperaturas. A Fórmula 6 foi utilizada para calcular a massa específica.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

Onde:

ρ – massa específica do cimento (g/cm³)

m – massa do material ensaiado (g)

V – volume deslocado pela massa do material ensaiado (cm³)

3.2.3 Ensaios a serem realizados com o RCD

3.2.3.1 Coleta das amostras do RCD

A coleta do material foi realizada conforme NBR NM 10007 (ABNT, 2004), onde o material foi recolhido sobre o solo em uma pilha de resíduos com o auxílio de uma pá. Houve uma alteração da norma, onde se solicitava a coleta em 3 pontos, na parte superior, intermediária e inferior da pilha de materiais, na parte inferior não foi possível pois existia muita presença de solo junto com o agregado.

3.2.3.2 Determinação da composição do resíduo

É importante se verificar a composição do resíduo que se está trabalhando para que se saiba os tipos de materiais que estão presentes na mistura do concreto. O processo para determinação da composição, foi realizado em uma separação visual dos agregados secos, separando em torno de 1 kg de material, para obter a amostra foi utilizado o método do quarteamento, seguindo a NBR NM 27 (ABNT, 2001). Em seguida o RCD foi distribuído por grupos, calculando cada grupo com a quantidade total de material separado inicialmente. Também foi realizada outra separação, pelo método da NBR 15116 (ABNT, 2004), que demonstra uma definição do material como agregado de resíduo de concreto (ARC), quando é composto de no mínimo 90% de fragmentos de cimento Portland e rochas ou agregado de resíduo misto (ARM), quando na sua composição está presente menos de 90% de fragmentos de cimento Portland e rochas.

3.2.3.3 Composição granulométrica do RCD

Para a definição da granulometria dos agregados graúdos reciclados utilizados no concreto não existe uma norma específica para o RCD, então se fez uso da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) para este trabalho, que já foi explicada no item 3.2.1.1.

3.2.3.4 Massa unitária do RCD

A massa unitária dos agregados graúdos reciclados foi determinada pela norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), que foi explicada no item 3.2.1.2.

3.2.3.5 Massa específica e absorção de água do RCD

Como não existem normas que regulamente a massa específica e a absorção de água dos agregados graúdos reciclados se utilizou da norma NBR NM 53 (ABNT, 2009), que foi explicada no item 3.2.1.3.

3.2.4 Método de dosagem do concreto

Para os ensaios na mistura do RCD no concreto foram elaborados moldes de corpos de prova que possuem algumas dosagens diferentes. As dosagens ensaiadas com a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado foram nas proporções de 10%, 30%, 50% e 100%. Para que se pudesse obter parâmetros de amostragem, moldes de corpos de prova como referência foram concretados utilizando o concreto convencional. Os rompimentos de todos os CP's foram em 7, 14 e 28 dias. Os dados encontrados são comparados com dados de outros trabalhos que tenham o mesmo tema.

A mistura dos materiais foi realizada em uma betoneira de eixo inclinado, que está no Laboratório de Tecnologias da Construção (Latec) da Univates.

3.2.4.1 Traço do concreto

Para desenvolver o traço deste concreto foi utilizado o método IPT, uma metodologia experimental, muito utilizada no Brasil, onde o traço é determinado por ensaios (HELENE e TERZIAN, 1992).

O ensaio começou sendo determinando um traço intermediário de 1:5, este valor também colocado por Helene e Terzian (1992), e fixando um valor de abatimento. Na sequência, foram determinados dois traços auxiliares mantendo o teor de argamassa, sendo um mais rico de 1:3,5 e outro mais pobre de 1:6,5. Em seguida os corpos de prova são moldados para as idades determinadas e com os resultados de compressão é montado o diagrama de dosagem que correlaciona, a resistência à compressão, a relação água/cimento, o traço unitário em massa e o consumo de cimento.

Com o diagrama de dosagem montado foi determinado um traço de referência, e a partir dos traços unitários é realizada a substituição do agregado gráúdo natural pelo RCD nas porcentagens determinadas. Foi necessário realizar uma compensação dos volumes de materiais utilizando a Fórmula 7, pelas diferenças de massa específica dos agregados gráudos naturais e o reciclado.

$$M_{ar} = \frac{\rho_{ar}}{\rho_{an}} \times \%subst \times M_{ian} \quad (7)$$

Onde:

M_{ar} – massa do agregado gráúdo reciclado (kg)

ρ_{ar} – massa específica do agregado gráúdo reciclado (kg/m³)

ρ_{an} – massa específica do agregado gráúdo natural (kg/m³)

$\%subst$ – porcentagem de substituição

M_{ian} – massa inicial do agregado gráúdo natural (kg)

3.2.5 Ensaios do concreto no estado fresco

3.2.5.1 Consistência do concreto

Para verificar a consistência do concreto estudado, foi realizado o teste de abatimento de cone segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). O procedimento para realizar o ensaio, foi da seguinte forma, o concreto teve de ser colocado dentro de um recipiente em formato cônico que ficou apoiado em uma base metálica, fixando com os pés. O concreto foi inserido em três camadas até que se preencheu o cone e cada camada foi golpeada 25 vezes com uma haste metálica, após se retirou o excesso do concreto. Na sequência o cone foi rapidamente sacado, invertido de lado e apoiado na base metálica com a abertura menor do cone para baixo, após se verificou a medida entre o cone que possui 30 cm de altura, com o concreto, esse foi o valor do abatimento do concreto.

3.2.5.2 Massa específica do concreto

Durante a produção do concreto foi determinada a massa específica dele utilizando a NBR 9833 (ABNT, 2008). Para proceder com o ensaio foi necessário separar um recipiente para inserir o concreto dentro. O volume do recipiente teve de ser calculado e pesado, o concreto foi inserido no recipiente em duas camadas, onde cada camada foi golpeada 12 vezes.

Na sequência a superfície foi rasada, o recipiente teve de ser limpo por fora e pesado. Para se calcular a massa específica do concreto foi utilizada a Fórmula 8.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \times 1000 \quad (8)$$

Onde:

ρ_{ap} – massa específica do concreto (kg/m³)

m – massa de concreto (kg)

V – volume do recipiente (dm³)

3.2.6 Ensaios do concreto no estado endurecido

3.2.6.1 Resistência à compressão

Sendo a principal característica do concreto, a resistência à compressão para os corpos de prova, foi medida de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007) e os corpos de prova foram feitos de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Os corpos de prova foram feitos de 100mm de diâmetro por 200mm de altura. Antes de colocar o concreto, foi passado desmoldante nos moldes para facilitar a retirada dos CP's após a cura. Para realizar a compactação do concreto, observe a Tabela 21, onde o número de camadas e golpes é informado.

Tabela 21 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

^b Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^c No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: NBR 5738 (ABNT, 2015)

Em seguida os corpos de prova foram curados dentro de uma câmara úmida, de acordo com os dias que se achar necessário para os resultados que se quer obter. Para o ensaio de compressão, os corpos de prova, foram inseridos na prensa hidráulica que se encontra no Latec da Univates, que pode ser vista na Figura 4. A

resistência à compressão dos CP's é verificada em MPa, os valores foram enviados pelo laboratório.

Figura 4 – Prensa hidráulica do Latec



Fonte: Autor (2017)

3.2.6.2 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração do concreto, foi medida de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011). Para o ensaio de tração por compressão diametral, é necessário a produção de corpos de prova e os testes são realizados na prensa da Figura 4. É necessário um apoio para o corpo de prova no equipamento, especificado pela norma, para que ele fique na posição horizontal, onde será aplicada uma carga crescente até a ruptura do mesmo. A resistência à tração por compressão diametral será fornecida pelo laboratório e o valor é dado em MPa.

3.2.6.3 Absorção de água do concreto e índice de vazios

Para determinar os dados de absorção de água e índice de vazios, a norma que foi utilizada, é a NBR 9778 (ABNT, 2005). Para realizar este ensaio é necessário fazer 2 corpos de prova de concreto segundo a norma, onde as peças foram secadas em estufa por 72 h e pesadas. Logo após foram colocadas em água por 72 h, e pesadas logo em seguida. Na sequência as amostras são colocadas em um recipiente com água em ebulição durante um período de 5 h e sua massa registrada com uma balança hidrostática. Os corpos de prova foram retirados da água enxugados e pesados novamente. Os dados obtidos devem ser utilizados nas Fórmulas 9 e 10, onde é obtido os valores de absorção de água e índice de vazios consequentemente.

$$A = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

A – absorção de água (%)

m_{sat} – massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g)

m_s – massa da amostra seca em estufa (g)

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

I_v – índice de vazios (%)

m_{sat} – massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g)

m_s – massa da amostra seca em estufa (g)

m_i – massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g)

3.2.6.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado conforme a norma NBR 9779 (ABNT, 2012). Para realizar este ensaio foi necessário fazer 3 corpos de prova de concreto, onde as peças foram secadas em estufa, após retiradas e resfriadas, sua massa teve de ser verificada. Em seguida elas foram colocadas em um recipiente com água até (5 ± 1) mm acima da face inferior do corpo de prova. Durante o ensaio a massa dos CP's foi registrada em 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h. Por fim eles foram rompidos por compressão diametral para verificar o quanto a água conseguiu subir por capilaridade no concreto. A absorção de água por capilaridade é calculada usando a Fórmula 11.

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (11)$$

Onde:

C – absorção de água por capilaridade (g/cm²)

m_{sat} – massa saturada do corpo de prova (g)

m_s – massa do corpo de prova seco (g)

S – área da seção transversal (cm²)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem por finalidade apresentar os resultados obtidos com os ensaios realizados no item 3.2 descritos anteriormente e também estes serão discutidos e comparados.

4.1 Coleta e preparação das amostras do RCD

Os materiais foram coletados em uma pilha de resíduos do britador na cidade de Venâncio Aires, conforme a norma NBR 10007 (ABNT, 2004), foram retirados cerca de 150 kg de RCD, com o auxílio de uma pá e sacos de ráfia que foram utilizados para o transporte do material até o Latec da Univates.

Quando foi realizado a coleta do material, verificou-se a existência de muitos resíduos orgânicos, como terra, estes tiveram que ser eliminados por uma lavagem utilizando água na betoneira e após limpos em cima de uma peneira de abertura de malha de 2mm, para que as impurezas pudessem sair por completo. Todo o material limpo foi secado em estufa posteriormente. Observe na Figura 5 o material já limpo e seco.

Figura 5 – RCD limpo e seco



Fonte: Autor (2018)

Na sequência, para realizar os ensaios com o RCD sendo o mesmo padrão de granulometria do agregado graúdo natural, foi feita uma separação dos resíduos na peneira de abertura de malha 12,5mm.

4.1.1 Composição do RCD

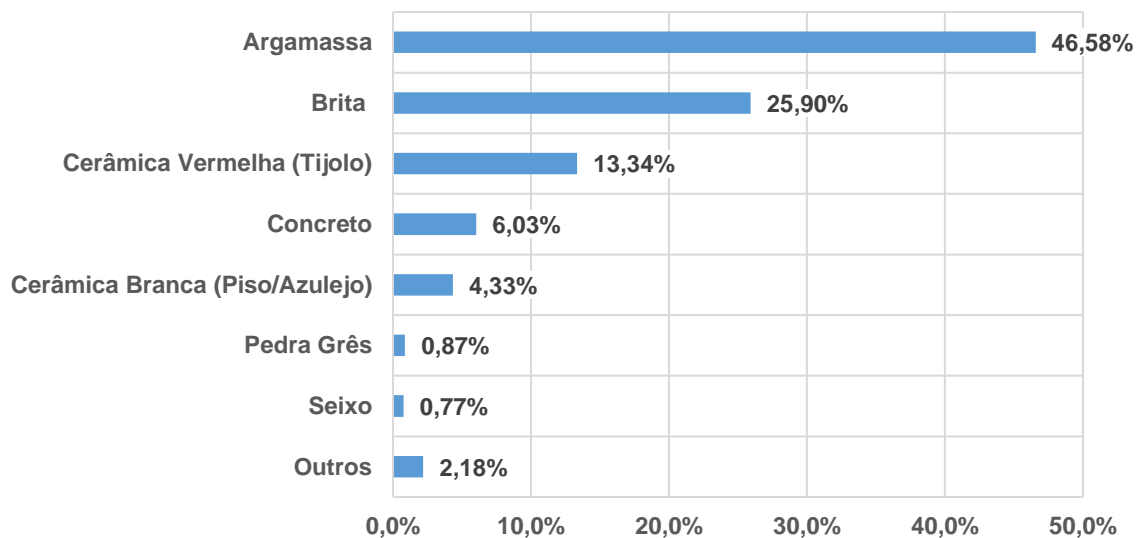
Para realizar a composição do RCD, separou-se em torno de 1 kg de material e em seguida realizou-se uma separação visual de cada um, em recipientes separados, como pode ser vista na Figura 6. Os resultados podem ser vistos no Gráfico 2.

Figura 6 – Separação do RCD para a sua composição



Fonte: Autor (2018)

Gráfico 2 – Composição do RCD

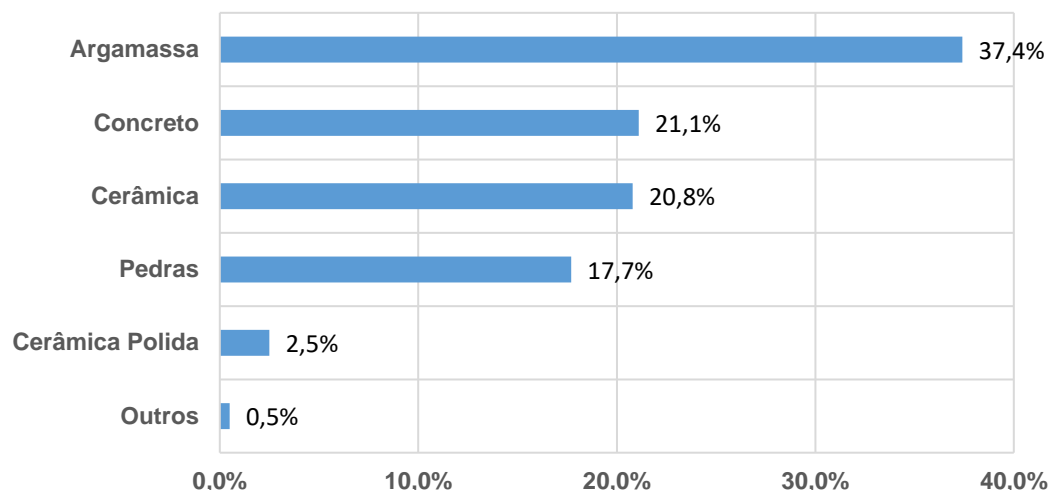


Fonte: Autor (2018)

Comparando com os resultados encontrados por Zordan (1997), que podem ser vistos no Gráfico 3, é possível se perceber que em cada coleta de material em

pontos diferentes, existem distintas configurações para os materiais de RCD. É difícil de haver uma padronização dentro da composição destes resíduos.

Gráfico 3 – Composição do RCD em Ribeirão Preto/SP



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Zordan (1997, p. 89)

Os dados apresentados por SCREAMIN (2007), que foram apresentados na Tabela 11, na página 35, onde ele levantou informações de outros autores, também comprovam que a predominância de argamassa e concreto, como os maiores percentuais na composição dos RCD, valores como 36,23%, 43,27% 53% e 53,99% comprovam estes dados. Somente em duas pesquisas se encontrou valores de 40% e 60,67% para a cerâmica como a maior composição na coleta.

No outro ensaio realizado segundo a NBR 15116 (ABNT, 2004), que pode ser visto na Tabela 22 logo abaixo, a soma dos percentuais de G_1 e G_2 gera um valor menor do que 90% e o RCD tem sua classificação como agregado de resíduo misto (ARM).

Tabela 22 – Classificação segundo a NBR 15116

Classificação de acordo com NBR 15116	
Fragmentos com pasta de cimento em mais de 50% do volume (G ₁)	51,6%
Fragmentos constituídos de rocha em mais de 50% do volume (G ₂)	31,1%
Fragmentos de cerâmica com superfície não polida em mais de 50% do volume (G ₃)	13,4%
Impurezas (G ₄)	3,8%

Fonte: Autor (2018)

Na comparação dos valores, é possível perceber a maior concentração de argamassa dentro da composição dos resíduos de obras.

4.2 Caracterização dos materiais

4.2.1 Aglomerante

A massa específica encontrada para o aglomerante utilizado no ensaio foi de 2,86 g/cm³, seguindo os passos da NBR 16605 (ABNT, 2017). O resultado está dentro dos padrões estabelecidos por um fabricante para as propriedades físicas do cimento, que é de 2,8 a 3,2 g/cm³ (FICHA de Informações..., 2016).

4.2.2 Agregados graúdos e miúdos

4.2.2.1 Granulometria

Para realizar o ensaio de granulometria dos agregado graúdo natural, do agregado miúdo e dos resíduos de construção e demolição, foram utilizadas as normas NBR NM 248/2003, que descreve como deve ser o ensaio para a determinação da composição granulométrica dos agregados, e a NBR 7211 (ABNT, 2009), que determina os requisitos que os agregados devem ter para serem aceitos na produção do concreto.

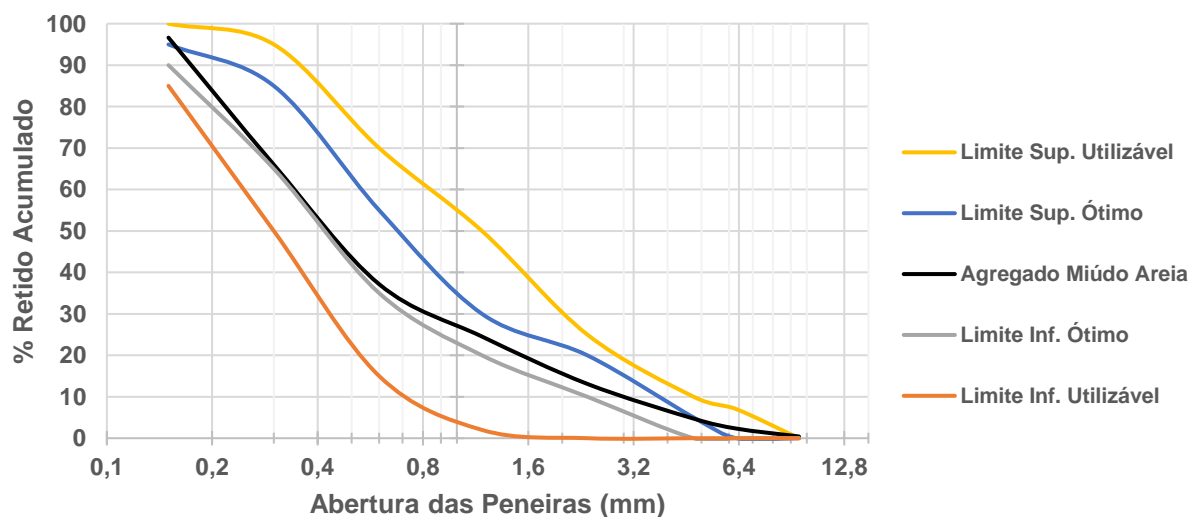
Os resultados encontrados para o agregado miúdo podem ser vistos na Tabela 23 e com os resultados, pode-se gerar a curva granulométrica vista no Gráfico 4. O módulo de finura da areia ficou em 2,43 e está situado dentro da zona ótima segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). O agregado pode ser classificado de acordo com os resultados, segundo Ambrozewicz (2012), como areia média, quando seu módulo de finura fica entre 2,11 a 3,38, e possui uma granulometria contínua e bem graduada (FARIAS; PALMEIRA, 2007).

Tabela 23 – Propriedades granulométricas do agregado miúdo

Peneiras		Material retido em gramas	% Retida	% Retida Acumulada	
Número	mm				
3/8"	9,5	4,2	0,42	0,42	
1/4"	6,3	19,1	1,90		2,32
4	4,75	24,2	2,41	4,73	
8	2,36	84,2	8,38	13,10	
16	1,18	114,8	11,42	24,53	
30	0,6	126,9	12,63	37,15	
50	0,3	289,8	28,84	65,99	
100	0,15	308,1	30,66	96,65	
Fundo	< 0,15	33,7	3,35	100,00	
Total		1005	100,00	242,57	
Módulo de Finura:				2,43	
Diâmetro Máximo Característico: 4,75mm					

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 4 – Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2018)

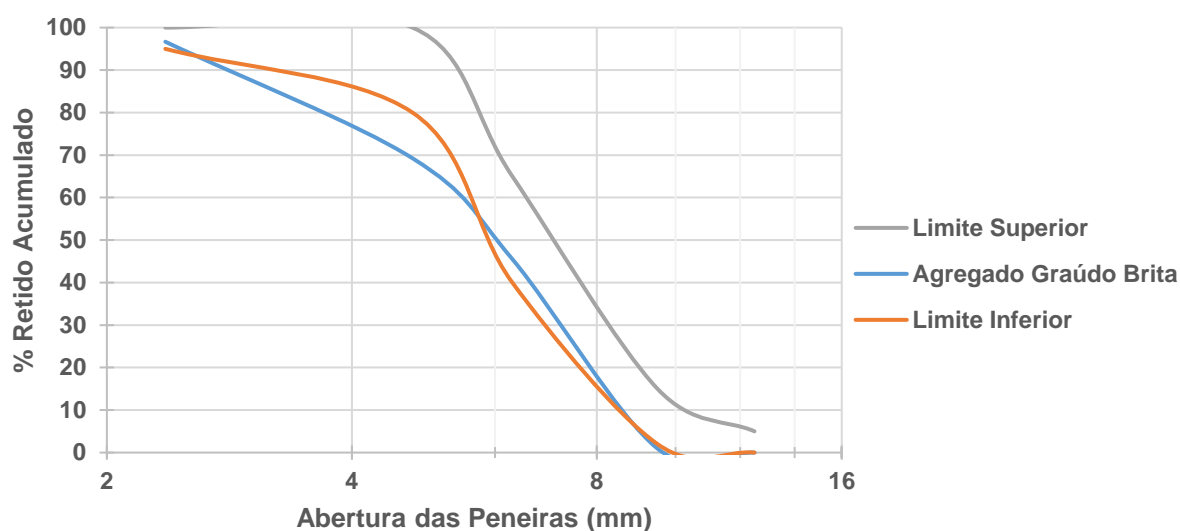
Os resultados dos ensaios para o agregado graúdo natural podem ser analisados na Tabela 24. Com o auxílio desta tabela, pode-se elaborar a curva granulométrica do agregado graúdo natural que pode ser vista no Gráfico 5. Observando o gráfico e a tabela, percebe-se que muito material ficou retido nas peneiras com abertura de malha menor, porém pelo desenho da curva o agregado é bem graduado (FARIAS; PALMEIRA, 2007). Seu DMC, ficou em 9,5mm, classificando o material como brita 0, segundo Ambrozewicz (2012).

Tabela 24 – Propriedades granulométricas do agregado graúdo natural

Peneiras		Material retido em gramas	% Retida	% Retida Acumulada	
Número	mm				
1/2"	12,5	0	0,00		0,00
3/8"	9,5	19,2	0,95	0,95	
1/4"	6,3	904,8	44,57		45,52
4	4,75	481,7	23,73	69,25	
8	2,36	556,7	27,42	96,67	
Fundo	< 2,36	67,5	3,33	100,00	
Total		2029,9	100,00	566,87	
Módulo de Finura:				5,67	
Diâmetro Máximo Característico: 9,5mm					

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 5 – Curva granulométrico do agregado graúdo natural



Fonte: Autor (2018)

Para o agregado graúdo dos RCD os resultados podem ser vistos na Tabela 25 e a curva granulométrica do resíduo pode ser verificada no Gráfico 6. Pelo gráfico

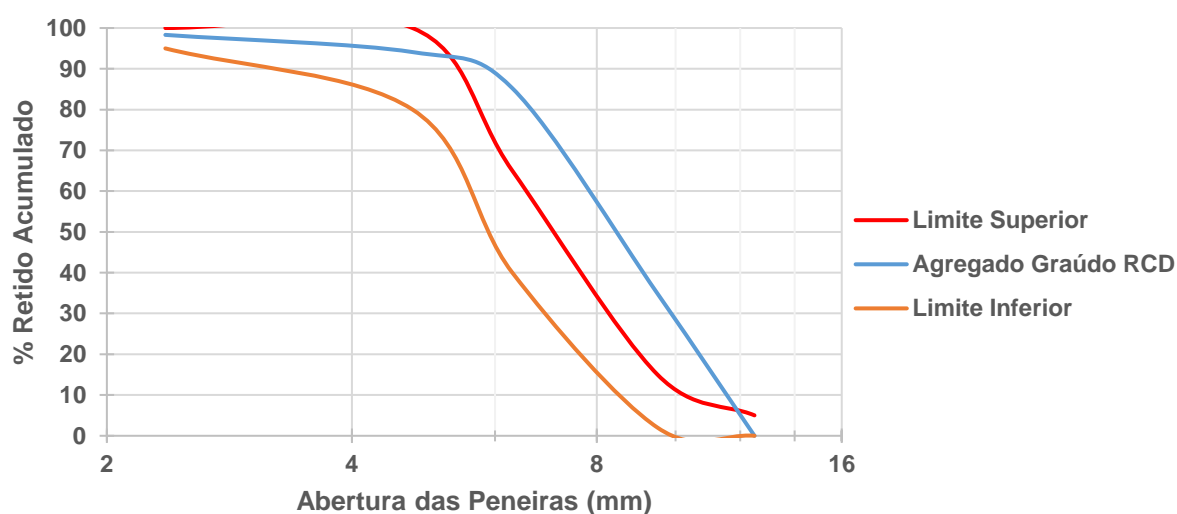
é possível perceber que a maior parte do material ficou retido nas peneiras de abertura de malha maior, o DMC do material ficou em 12,5mm, ficando muito próximo ao DMC do agregado graúdo natural, que é a brita 0 e o material é bem graduado (FARIAS; PALMEIRA, 2007). A curva vista no Gráfico 6 do agregado graúdo de RCD, está um pouco fora dos limites apresentados pela norma, porém como não existem normas específicas do agregado reciclado, ele pode ser aceito com esta granulometria.

Tabela 25 – Propriedades granulométricas do RCD

Peneiras		Material retido em gramas	% Retida	% Retida Acumulada	
Número	mm				
1/2"	12,5	0	0,00		0,00
3/8"	9,5	736,65	34,87	34,87	
1/4"	6,3	1064,15	50,37		85,24
4	4,75	187,25	8,86	94,10	
8	2,36	89,15	4,22	98,32	
Fundo	< 2,36	35,5	1,68	100,00	
Total		2112,7	100,00	627,29	
Módulo de Finura:				6,27	
Diâmetro Máximo Característico: 12,5mm					

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 6 – Curva granulométrico do RCD



Fonte: Autor (2018)

4.2.3 Massa unitária

As massas unitárias encontradas no ensaio de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), podem ser vistas na Tabela 26.

Tabela 26 – Massa unitária dos agregados ensaiados

	Agregado Graúdo Natural	Agregado Miúdo Natural	Agregado Graúdo RCD
Massa Unitária	1257 kg/m ³	1633 kg/m ³	1061 kg/m ³

Fonte: Autor (2018)

O resultado encontrado para o agregado graúdo RCD, demonstra que ele possui uma menor densidade dos outros agregados, o que pode ser visto também na pesquisa realizada por Leite (2001), onde o resultado encontrado por ele para a massa unitária do RCD foi de 1120 kg/m³ e por Lovato (2007) que foi em média 1067 kg/m³, valores próximos ao encontrado no ensaio realizado.

4.2.4 Massa específica

As massas específicas encontradas para os agregados podem ser vistas na Tabela 27 e os ensaios foram realizadas segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2009) e a NBR NM 52 (ABNT, 2009).

Tabela 27 – Massa específica dos agregados ensaiados

	Agregado Graúdo Natural	Agregado Miúdo Natural	Agregado Graúdo RCD
Massa Unitária	2747 kg/m ³	2788 kg/m ³	2666 kg/m ³

Fonte: Autor (2018)

Analisando os resultados para a massa específica encontrada por Leite (2001) para o RCD que é de 2510 kg/m³ e Lovato (2007) que foi em média 2477 kg/m³, são próximos ao utilizado para o presente trabalho, o que pode se perceber, ser um valor aceitável para a massa específica do agregado graúdo de RCD. Existe sempre uma diferença entre os resultados por conta da composição do resíduo para cada local onde foi coletado e processado.

4.2.5 Absorção de água

A absorção de água dos agregados naturais no concreto possui valores muito baixos e não chega a ter grande influência na produção do concreto, porém agregados como o RCD possuem elevadas taxas de absorção, o que pode acarretar em um concreto com muita porosidade e baixa resistência. Por este motivo é interessante o estudo da absorção de água dos agregados, onde os resultados encontrados nos ensaios segundo as normas NBR NM 30 (ABNT, 2001) para agregados miúdos e a NBR NM 53 (ABNT, 2009) para os agregados graúdos, podem ser visualizados na Tabela 28 logo abaixo.

Tabela 28 – Absorção de água dos agregados ensaiados

	Agregado Graúdo Natural	Agregado Miúdo Natural	Agregado Graúdo RCD
Massa Unitária	4,1 %	0,87%	10,9 %

Fonte: Autor (2018)

Comparando o resultado encontrado para a absorção de água do RCD de 10,9 % com outros autores, pode-se ter uma colocação de que a absorção de cada material presente na composição do RCD, acaba influenciando a taxa de absorção, o que acaba trazendo valores diferentes para cada autor, que podem ser vistos na Tabela 29. Cabral (2007), encontrou valores muito próximos ao resultado do trabalho para absorção de água do RCD, por conta do resíduo pesquisado ter grande presença de argamassa em sua composição.

Tabela 29 – Absorção de água do RCD para outros autores

	Absorção de água
Tenório (2007)	8,41 %
Leite (2007)	4,95 %
Gonçalves (2001)	4,9 %
Cabral (2007)	9,52 %*

*Valor referente a RCD composto de argamassa

Fonte: Autor (2018)

Como se pode perceber o RCD absorve um grande percentual de água comparado aos agregados naturais, por este motivo será acrescentado água no traço do concreto com adição de RCD no valor de 80% do teor de absorção de água dos resíduos, um valor determinado pela norma NBR 15116 (ABNT, 2004). Cabral (2007) também utilizou valores de 80% da água absorvida pelo RCD no período de 24 h, no acréscimo dos ensaios para os traços do concreto. A água foi acrescentada nos traços uns 10 minutos antes já como um pré-molhagem do resíduo.

4.3 Propriedades do concreto

4.3.1 Definição do traço e dosagem do concreto de referência

Após ter sido desenvolvido a caracterização de todos os materiais, iniciou-se a produção do concreto, desenvolvendo o traço de referência conforme já explicado anteriormente em métodos.

Utilizando o método do IPT comentado por Helene e Terzian (1992) para definir o traço do concreto, primeiramente se utilizou do traço médio de 1:5 (cimento:agregados) para definir o teor ideal de argamassa, onde foi encontrado o resultado de 55%. O abatimento definido para o traço seguindo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) era de 8 ± 2 cm. A seguir fez-se mais dois traços um mais rico de 1:3,5 e outro mais pobre de 1:6,5 em cimento. Estes traços foram definidos para que se pudesse obter o diagrama de dosagem do concreto referência. Foram produzidos 3 corpos de prova para cada idade de rompimento em cada traço, que foram 7, 14 e 28 dias, fazendo um total de 27 corpos de prova. A Tabela 30, apresenta os resultados encontrados com o método IPT.

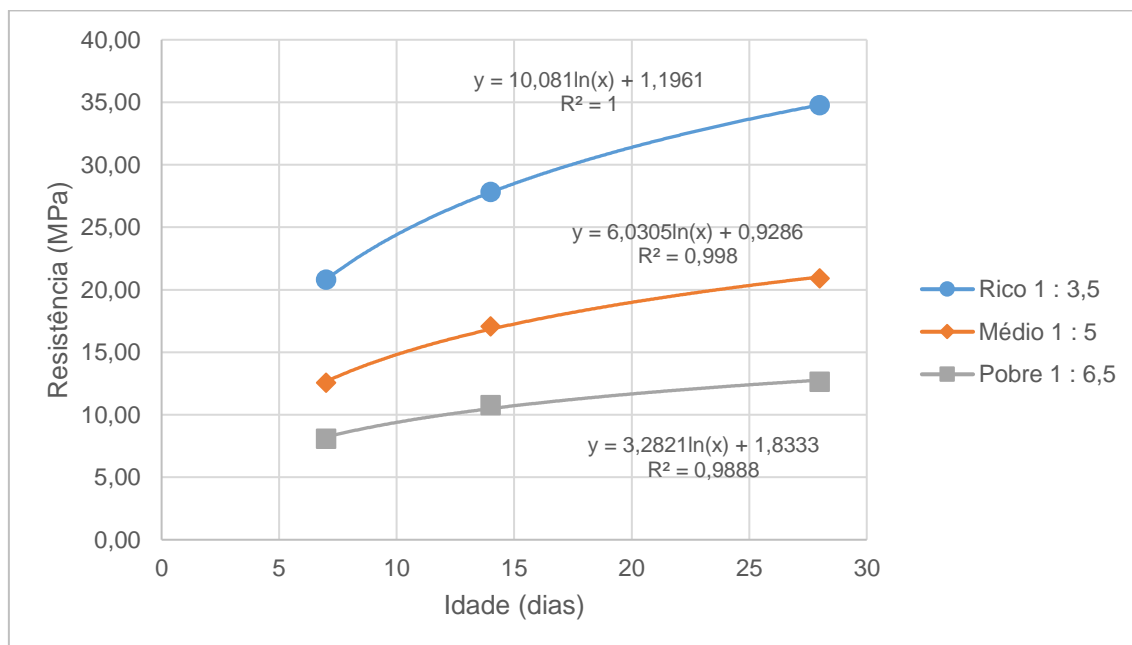
Tabela 30 – Traços em massa utilizado na produção do concreto de referência

	Teor de argamassa	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	m (kg)	a/c	Massa específica (kg/m³)	CC - consumo cimento teórico (kg/m³)
Pobre	55%	1,00	3,125	3,375	6,50	0,80	2301,4	277,3
Médio		1,00	2,30	2,70	5,00	0,59	2288,7	347,3
Rico		1,00	1,475	2,025	3,50	0,51	2282,6	455,6

Fonte: Autor (2018)

Os resultados para o concreto de referência podem ser vistos no Apêndice A, onde se utilizou os valores de resistência média encontrados nos resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova no Gráfico 7 a seguir.

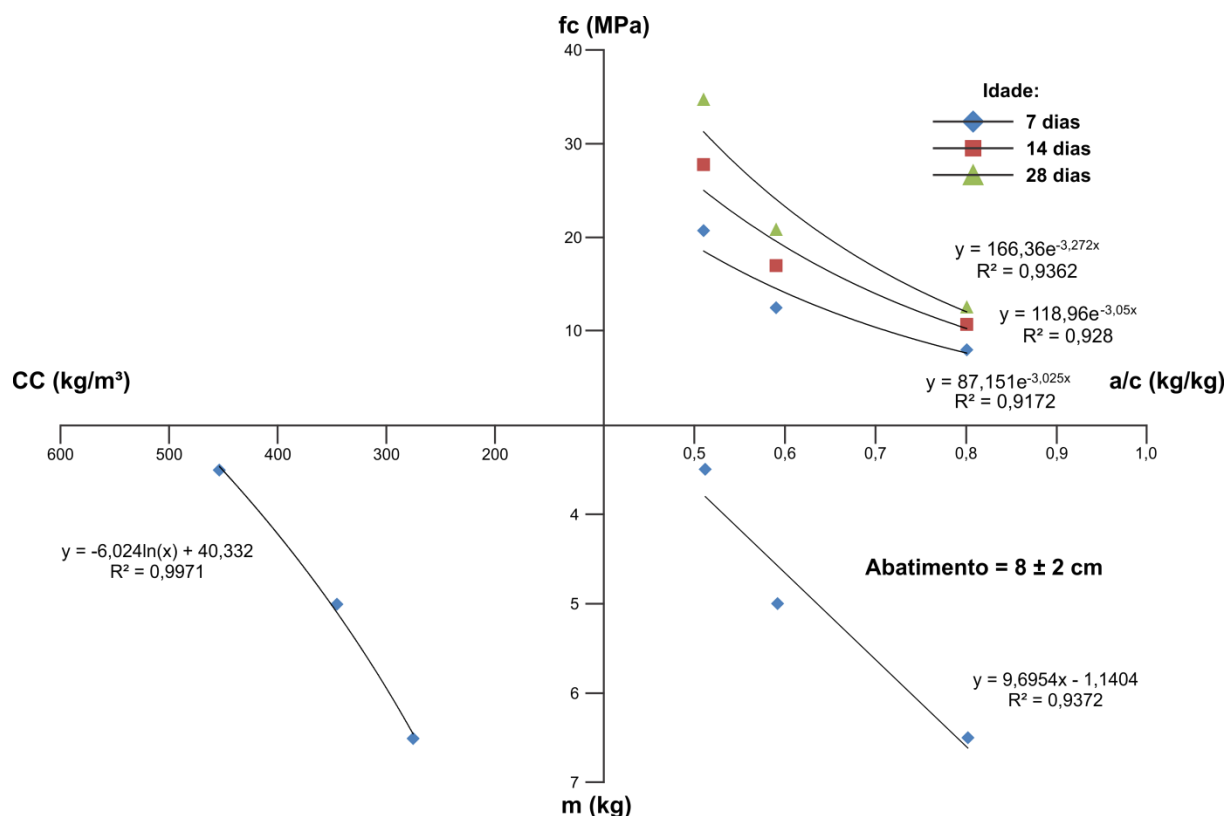
Gráfico 7 – Resistência do concreto referência em função da idade



Fonte: Autor (2018)

Com os resultados da Tabela 30 e do Gráfico 7, pode ser gerado o diagrama de dosagem do concreto, que pode ser visto na Figura 7 logo abaixo.

Figura 7 – Diagrama de dosagem do concreto de referência



Fonte: Autor (2018)

4.3.2 Definição do traço e dosagem do concreto com RCD

Para definir o traço do concreto com a adição do RCD, o diagrama de dosagem foi usado para verificar o tipo de resistência que se deseja alcançar para o concreto.

Sabendo que para este tipo de concreto, segundo Mehta e Monteiro (2014), irá ter uma redução em torno de 25% em sua resistência e se quer chegar em resultados de 15 MPa para o concreto com RCD. O valor utilizado para a resistência do concreto referência foi de 20 MPa no diagrama, onde para o concreto com adição de RCD se conseguiria encontrar valores aproximados de 15 MPa com a redução. Como o resultado que se queria obter com o diagrama de dosagem era próximo da média da resistência à compressão do concreto de referência, onde foi encontrado 20,92 MPa, que pode ser visto no Apêndice A. Se utilizou os mesmos resultados já obtidos do concreto referência para a comparação com os resultados do concreto com adição de RCD.

Na substituição do agregado graúdo natural pelo RCD, teve de ser realizado uma compensação no volume de agregados, por causa que a massa específica da brita ficou maior que a do RCD, caso esta compensação não tivesse sido realizada, seria necessário um aumento na quantidade de água e cimento, para que o concreto ficasse equivalente no seu abatimento e resistência mecânica. A Fórmula 7, apresentada anteriormente foi utilizada para calcular esta substituição.

Em seguida foi realizado o cálculo para a adição da água no RCD antes da sua concretagem, para que o mesmo fosse inserido na betoneira já com uma pré-molhagem, conforme indica a NBR 15116 (ABNT, 2004). Fazendo com que o agregado de RCD não absorvesse a água necessária para realizar a mistura do concreto.

Os valores encontrados para os traços de 10, 30, 50 e 100 % podem ser vistos na Tabela 31 logo abaixo.

Tabela 31 – Traços em massa utilizado na produção do concreto com RCD

Substituição do agregado	Teor de argamassa	Traço unitário 1 : 5			Consumo total de materiais (kg)						
		Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	RCD (kg)	a/c	Água (kg)	Adição de água RCD (kg)
Ref	55%	1	2,3	2,7	14,81	34,07	40	0	0,59	8,74	0
10%		1	2,3	2,7	14,81	34,07	36	3,88	0,59	8,74	0,34
30%		1	2,3	2,7	14,81	34,07	28	11,65	0,59	8,74	1,02
50%		1	2,3	2,7	14,81	34,07	20	19,41	0,59	8,74	1,69
100%		1	2,3	2,7	14,81	34,07	0	38,82	0,59	8,74	3,39

Fonte: Autor (2018)

4.3.3 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados e curados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015). Todos foram concretados no formato cilíndrico nas medidas de 10 x 20 cm, em uma forma com aplicação de desmoldante para facilitar na desforma. Foram compactados em duas camadas, cada uma com 12 golpes, na parte superior todos

foram rasados e nivelados. Nas primeiras 24h, foram curados ao ar e para o restante do tempo de cura estavam em uma câmara úmida.

A Figura 8, demonstra os corpos de prova do concreto com adição de RCD.

Figura 8 – Corpos de prova do concreto com adição de RCD



Fonte: Autor (2018)

As tabelas 32 e 33 demonstram as quantidades de corpos prova que foram feitos de acordo com as idades de rompimento e seus respectivos traços. No total houve a produção de 144 peças para realizar todos os ensaios.

Tabela 32 – Corpos de prova para o concreto de referência

Traço concreto referência	1 : 3,5			1 : 5			1 : 6,5			TOTAL
Dias	7	14	28	7	14	28	7	14	28	
Compressão	3	3	3	3	3	3	3	3	3	48
Tração por compressão diametral			3			3			3	
Absorção de água por capilaridade			2			2			2	
Absorção de água e índice de vazios			2			2			2	

Fonte: Autor (2018)

Tabela 33 – Corpos de prova para o concreto com adição de RCD

Traço concreto RCD	10%			30%			50%			100%			TOTAL
Dias	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28	
Compressão	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	96
Tração por compressão diametral			5			5			5			5	
Absorção de água por capilaridade			2			2			2			2	
Absorção de água e índice de vazios			2			2			2			2	

Fonte: Autor (2018)

Passando os 28 dias de cura dos corpos de prova, foi pego um de cada traço e foram cortados ao meio para verificar como eles ficaram internamente, observe na Figuras 9 logo abaixo. Eles estão apresentados da esquerda para a direita, começando com o concreto referência, em seguida 10, 30, 50 e 100% de substituição do RCD. É possível perceber um visual mais colorido para o concreto com adição de RCD.

Figura 9 – Corpos de prova cortados após 28 dias de cura

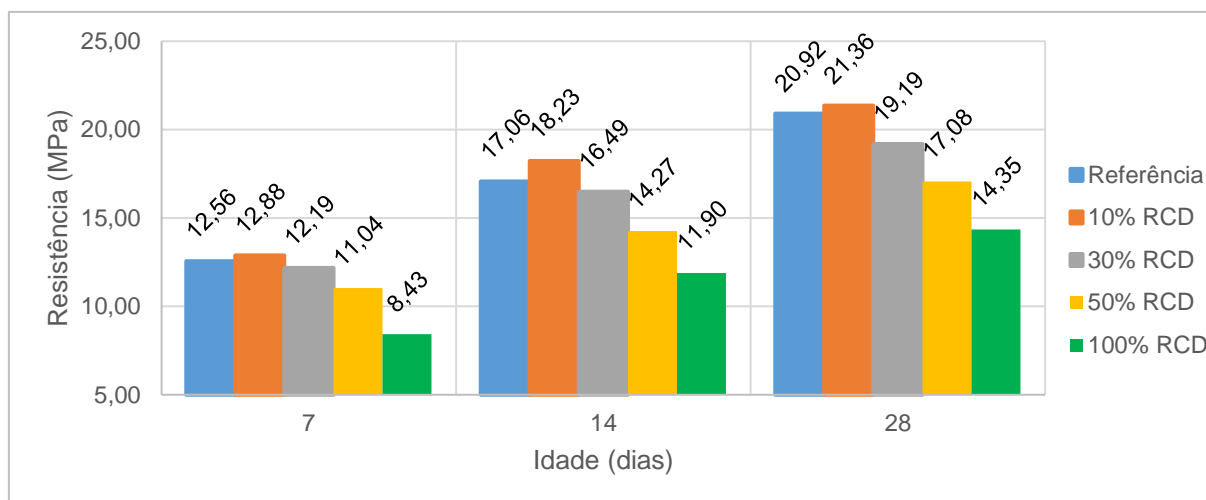


Fonte: Autor (2018)

4.3.4 Ensaios de compressão

Os resultados de resistência à compressão para os corpos de prova do concreto com adição de RCD, podem ser vistos na Figura 10, onde são apresentadas as médias de compressão, todos os resultados para cada corpo de prova podem ser vistos no Apêndice B.

Figura 10 – Resistência do concreto x idade de rompimento



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 10, podem ser vistos a comparação de todos os valores, onde é possível verificar que o concreto com adição de 10% de RCD obteve um ganho de resistência comparado ao concreto de referência, o fato pode ter acontecido pela presença de finos junto ao resíduo, que pela diferente granulometria ajuda a preencher melhor os vazios junto com a areia presente no concreto.

Outra observação é a diminuição da resistência com o aumento da substituição do agregado gráúdo natural pelo RCD. Comparando o concreto referência de 28 dias, com o concreto com 10% de RCD houve um aumento de 2,1% na resistência, após este, todos os valores tiveram diminuição, com 8,27% no concreto de 30% com RCD, 18,36% no concreto com 50% de RCD e 31,41% no concreto com 100% de RCD.

Leite (2001), também encontrou em sua pesquisa um aumento da resistência no concreto com RCD, quando utilizou somente o agregado miúdo na substituição, o que pode ser explicado pela diferença de granulometria que existe no agregado miúdo reciclado.

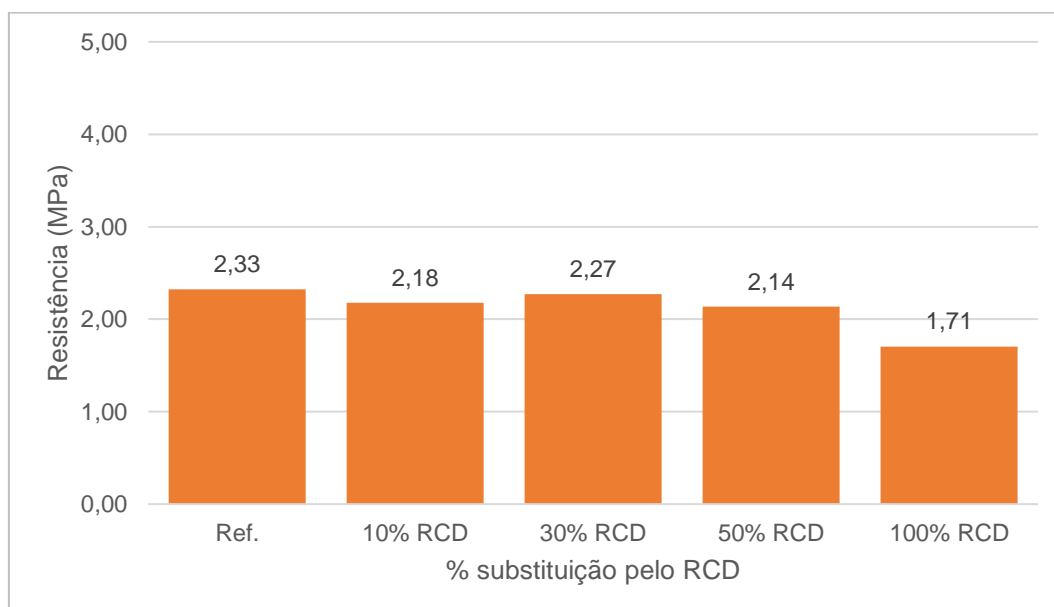
Os resultados apontados por Mehta e Monteiro (2014), para a substituição de 100% do agregado, seriam na diminuição de 25% na resistência, nos resultados encontrados, este valor ficou maior, o que pode ter ocorrido pela diferente composição dos resíduos e a diferença na absorção de água de cada material.

Nos valores de compressão para 30% na substituição dos agregados houve pouca perda de resistência, conforme colocado por Zordan (1997), quando feito substituição de até 20% do agregado, o concreto teria pouca alteração nos valores de compressão.

4.3.5 Ensaios de tração por compressão diametral

A Figura 11 apresenta os valores médios de resistência encontrados para o ensaio de tração por compressão diametral dos corpos de prova do concreto. Todos os resultados podem ser vistos no Apêndice C.

Figura 11 – Resistência do concreto à tração por compressão diametral em 28 dias



Fonte: Autor (2018)

Observando os valores encontrados no ensaio e comparando todos com o concreto referência, houve uma queda de 6,4% na resistência do concreto com 10% de RCD. Já para o concreto com 30% de RCD, houve uma queda de apenas 2,6%, o que possui 50% de RCD diminuiu a sua resistência em 8,2% e o concreto com 100% de RCD diminuiu 26,6%.

É possível analisar pelos resultados que até 50% de RCD sendo substituído no concreto, que a variação nos valores é muito pequena. Não houve queda maior do que 10%, valor este mencionado por Mehta e Monteiro (2014), até o percentual de 50% de substituição. Enquanto que para 100% de RCD presente no concreto a

queda foi maior, chegando muito próximo aos valores encontrados por Lovato (2007), onde o autor, na substituição de 100% do agregado graúdo, encontrou uma queda de 26% na resistência.

4.3.6 Absorção de água e índice de vazios

A absorção de água e índice de vazios foram calculadas segundo a norma NBR 9778 (2005). Os resultados dos ensaios encontrados para cada corpo de prova, podem ser vistos no Apêndice D, onde com os valores médios encontrados foram substituídos nas Fórmulas 9 e 10 para encontrar a absorção de água e o índice de vazios respectivamente, os valores podem ser vistos na Tabela 34.

Tabela 34 – Absorção de água e índice de vazios

Traço	Absorção de Água	Relação Concreto RCD/Concreto Referência	Índice de Vazios	Relação Concreto RCD/Concreto Referência
Referência	6,7%	1,00	14,4%	1,00
10% RCD	7,4%	1,11	15,7%	1,09
30% RCD	7,7%	1,16	16,2%	1,13
50% RCD	7,8%	1,17	16,1%	1,12
100% RCD	9,6%	1,44	19,2%	1,33

Fonte: Autor (2018)

Os valores encontrados para a absorção de água e o índice de vazios, satisfazem a bibliografia pesquisada, em ambos há o aumento das taxas, o que pode ser explicado pelo aumento da substituição do agregado graúdo natural pelo RCD. O material reciclado por ser muito poroso e ter uma alta absorção de água, acaba refletindo na mistura do concreto.

Comparando os resultados encontrados para a substituição de 100% do RCD, onde houve um aumento de 44% na absorção de água e de 33% no índice de vazios, com os resultados encontrados por Gonçalves (2001), que foram de 19% e 14% respectivamente e com os valores de Lovato (2007), que encontrou taxas de 16% a 80%, percebe-se que os resultados não foram iguais ou próximos, colocando a composição de cada autor como fator predominante para estas diferenças.

Os dados encontrados por Gómez-Soberón apud Cabral (2007), ficaram próximos dos valores obtidos nos ensaios. O que ajuda a comprovar que alguns resíduos podem ter configurações próximas a outros.

Percebe-se que não existe um valor comum para estes dados, pois os resultados obtidos podem variar conforme a composição do resíduo em cada coleta.

4.3.7 Absorção de água por capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade, foi usado a NBR 9779 (2012), onde os resultados extraídos dos testes com os corpos de prova podem ser vistos no Apêndice E e com os valores médios encontrou-se a absorção de água do concreto com 3, 24, 48 e 72 horas, os valores podem ser vistos na Tabela 35.

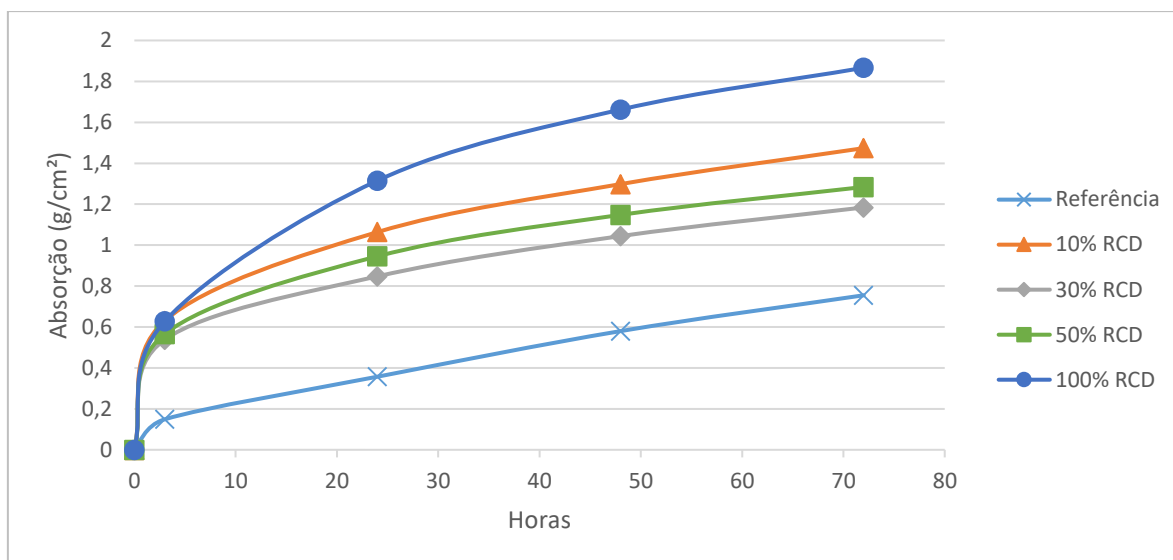
Tabela 35 – Absorção de água do concreto por capilaridade

Traço	Absorção de Água 3h (g/cm²)	RCD / Referência	Absorção de Água 24h (g/cm²)	RCD / Referência	Absorção de Água 48h (g/cm²)	RCD / Referência	Absorção de Água 72h (g/cm²)	RCD / Referência
Referência	0,15	1,00	0,36	1,00	0,58	1,00	0,76	1,00
10% RCD	0,63	1,76	1,06	2,98	1,30	2,24	1,47	1,95
30% RCD	0,54	1,51	0,85	2,37	1,04	1,80	1,18	1,57
50% RCD	0,57	1,58	0,95	2,65	1,15	1,98	1,28	1,70
100% RCD	0,63	1,76	1,32	3,68	1,66	2,87	1,87	2,47

Fonte: Autor (2018)

Com os valores obtidos na Tabela 35, foi possível obter o Gráfico 8, para que se consiga observar como foi o aumento de absorção de água com o passar do tempo.

Gráfico 8 – Absorção de água do concreto x tempo



Fonte: Autor (2018)

Observando o Gráfico 8, conforme se aumenta a substituição do agregado graúdo, a absorção de água por capilaridade também aumenta, pois, o agregado de RCD deixa com mais poros o concreto. A absorção diminui muito pouco com o passar do tempo, mas é bem acentuada na substituição de 100% do RCD. Outro ponto que pode se observar pelo gráfico, é de que passado 3h do ensaio, o concreto com adição de RCD tem um aumento muito grande em sua absorção de água, o que está ligado diretamente ao grande percentual de absorção de água do agregado de RCD, após este tempo o ganho ainda continua, porém a uma taxa de crescimento menor.

Observando os resultados, é possível constatar de que a porcentagem de substituição do agregado natural pelo agregado de RCD está ligada a resistência do concreto, conforme se aumenta a substituição, se diminui a resistência. Este fato também está ligado a absorção por capilaridade, quanto menor a resistência do concreto, maior também o seu índice de vazios, fazendo com que a água se percole com maior facilidade, esta foi a mesma correlação feita por Sentena (2010) em seus resultados.

5 CONCLUSÃO

Observando os resultados das análises realizadas neste trabalho, onde se avaliou a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo de RCD em percentuais de 10%, 30%, 50% e 100%, objetivando uma aplicação para um concreto sem função estrutural. São apresentadas neste capítulo, as conclusões finais do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Nos resultados de compressão, foi observado que o concreto com adição de RCD para ser aceito deveria ter uma resistência de até 15 MPa, valor que foi atingido para a substituição de 50% do RCD, chegando a 17,08 MPa. Por conta do agregado de RCD ser mais poroso que o agregado natural, possui também uma menor resistência, o que é possível identificar com a perda de resistência à compressão do concreto no aumento da substituição dos agregados

Outro ponto importante foi a análise da absorção de água do concreto com o RCD. Os resultados demonstraram que o concreto possui uma alta taxa de absorção de água, por conta de possuir materiais na composição do RCD que são muito porosos, o que implica em uma grande absorção e quanto maior for a absorção menor será a resistência do concreto. O concreto com adição de RCD teve 44% a mais de absorção de água com relação do concreto referência. Situações que devem ser observadas como, uma pré-molhagem dos resíduos, por conta do RCD ser um material que absorve muita água.

Uma seleção dos resíduos antes de serem britados é importante, para que não se tenha materiais que possam afetar a resistência do concreto ou acarretar em algum processo químico após a sua cura. As diferentes composições do material

comprovam que se torna difícil o seu estudo, pois em cada ensaio pode-se ter resultados distintos para uma mesma coleta, porém em pontos diferentes.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, Paulo H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - ABRECON. **Relatório de pesquisa setorial 2014/2015**. Disponível em: <<https://issuu.com/abrecon/docs/relatorio-pesq2015>>. Acesso em: 18 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em: 26 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____**NBR 9895:** Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____**NBR 10007:** Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____**NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____**NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____**NBR NM 27:** Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____**NBR NM 30:** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____**NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____**NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____**NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____**NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____**NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BATISTA, Cristiano G. **Influência na resistência à compressão de concretos com agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado natural.** 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC, Criciúma, 2009. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000040/000040E8.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções do Conama: resoluções vigentes entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LibroConama.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

CABRAL, Antonio E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concreto produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo USP, São Carlos, 2007.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 481-524.

FICHA de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ. **InterCement**, 2016. Disponível em: <http://brasil.intercement.com/app/files/Arquivos/FICHA-01-FISPQ-Ficha-de-Informacoes-de-Seguranca_InterCement_2016.pdf>. Acesso em: 03 maio 2018.

GONÇALVES, Rodrigo D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME_RodrigoDantasCasilloGoncalves.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017.

HELENE, P; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 439-471

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriospesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Docente), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017.

LEITE, Mônica B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. 2001. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/21839>>. Acesso em: 28 out. 2017.

LEVY, Salomon M. Materiais Reciclados na Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 1629-1657.

LOVATO, Patrícia S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para utilização em concreto.** 2007. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS, Porto Alegre, 2007. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10609/000598258.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 out. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NICOLAU, Sandra. H. F. **Potencial de uso de resíduos da construção civil de João Pessoa como agregados miúdos em concretos.** 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraíba. João Pessoa, 2008. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp092348.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2017.

PAULA, Paulo R. F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural.** 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2010. Disponível em: <http://www.unicap.br/tede/tde_arquivos/3/TDE-2010-11-08T172300Z-351/Publico/dissertacao_paulo_freire.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2017.

PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO GRANDE DO SUL – PERS - RS. 2014. Disponível em: <<http://www.pers.rs.gov.br/noticias/arq/ENGB-SEMA-PERS-RS-40-Final-rev01.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

ROCHA, Eider. G. A. **Os resíduos sólidos de construção e demolição: gerenciamento, quantificação e caracterização. Um estudo de caso no distrito federal.** 2006. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M06-2A-Eider-Rocha.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

SANTOS, Eder C. G. dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** 2007. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-10042007-110106/pt-br.php>>. Acesso em: 18 set. 2017.

SCREMIN, Lucas B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte.** 2007. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/89805>>. Acesso em: 28 out. 2017.

SILVA, Margarete B. L. **Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil**. 2014. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/259.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

SENTENA, Jeferson A. A. Absorção de água por capilaridade em concretos com agregados reciclados de concreto. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PUCRS, XI, 2010. Porto Alegre: UNISINOS, 2010, 2517-2519. Disponível em: <http://www.pucrs.br/edipucrs/XISalaoIC/Engenharias/Engenharia_Civil/83980-JEFERSONALCANTARAALVESENTENA.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2018

STOLZ, Carina M. **Viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD: um estudo de caso para Ijuí/RS**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2008. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Carina-Mariane-Stolz.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

ZORDAN, Sérgio E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Sergio_Zordan_-_Entulho_Agregado_para_Concreto.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Resultados de compressão para o concreto de referência

CONCRETO DE REFERÊNCIA											
Traço	Dias	Resistência (MPa)	Média (MPa)	DP	Limites (MPa)		Resistênci a (MPa)	Média Nova (MPa)	DP	Limites (MPa)	CV (%)
1 : 3,5	7	23,07*	21,56	1,31	22,87		20,83 20,77	20,80	0,04	20,84	0,20
		20,83			20,76						
		20,77			20,25						
1 : 3,5	14	29,41*	28,35	0,92	29,28		27,94 27,71	27,83	0,16	27,99	0,58
		27,94			27,66						
		27,71			27,43						
1 : 3,5	28	35,26	34,09	1,28	35,37		35,26 34,29	34,78	0,69	35,46	1,97
		34,29			34,09						
		32,72*			32,81						
1 : 5	7	13,82*	12,98	0,73	13,71		12,56 12,55	12,56	0,01	12,56	0,06
		12,56			12,55						
		12,55			12,25						
1 : 5	14	18,48*	17,53	0,90	18,43		17,43 16,69	17,06	0,52	17,58	3,07
		17,43			16,54						
		16,69			16,63						
1 : 5	28	22,74*	21,52	1,05	22,58		20,95 20,88	20,92	0,05	20,96	0,24
		20,95			20,87						
		20,88			20,47						
1 : 6,5	7	8,95*	8,37	0,56	8,93		8,32 7,84	8,08	0,34	8,42	4,20
		8,32			7,74						
		7,84			7,81						
1 : 6,5	14	10,91	10,44	0,60	11,04		10,91 10,64	10,78	0,19	10,97	1,77
		10,64			10,58						
		9,77*			9,84						
1 : 6,5	28	13,83*	13,03	0,71	13,74		12,77 12,49	12,63	0,20	12,83	1,57
		12,77			12,43						
		12,49			12,32						

* Valores que foram desconsiderados para a nova média DP - Desvio Padrão
CV - Coeficiente de Variação

APÊNDICE B – Resultados de compressão para o concreto com adição de RCD

CONCRETO COM ADIÇÃO DE RCD - COMPRESSÃO EM 7 DIAS														
Traço	Dias	Resistência (MPa)	Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	CV (%)
1 : 5 Referência	7	13,82* 12,56 12,55	12,98	0,73	13,71 12,25	12,56 12,55	12,56	0,01	12,56 12,55					0,06
1 : 5 10% RCD	7	13,40* 13,32 12,89 12,86 12,65*	13,02	0,32	13,35 12,70	13,32* 12,89 12,86	13,02	0,26	13,28 12,77	12,89 12,86	12,88	0,02	12,90 12,85	0,16
1 : 5 30% RCD	7	13,22* 12,77 12,35 12,02 11,50*	12,37	0,66	13,04 11,71	12,77* 12,35 12,02	12,38	0,38	12,76 12,00	12,35 12,02	12,19	0,23	12,42 11,95	1,92
1 : 5 50% RCD	7	11,33* 11,10 11,05 10,97 10,90*	11,07	0,16	11,23 10,91	11,10 11,05 10,97	11,04	0,07	11,11 10,97					0,59
1 : 5 100% RCD	7	8,51 8,46 8,43 8,41 8,27*	8,42	0,09	8,51 8,33	8,51* 8,46 8,43 8,41	8,45	0,04	8,50 8,41	8,46 8,43 8,41	8,43	0,03	8,46 8,41	0,30

* Valores que foram desconsiderados para a nova média DP - Desvio Padrão CV - Coeficiente de Variação

CONCRETO COM ADIÇÃO DE RCD - COMPRESSÃO EM 14 DIAS														
Traço	Dias	Resistência (MPa)	Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	CV (%)
1 : 5 Referência	14	18,48* 17,43 16,69	17,53	0,90	18,43 16,63	17,43 16,69	17,06	0,52	17,58 16,54					3,07
1 : 5 10% RCD	14	18,30 18,24 18,15 16,56* 16,56*	17,56	0,92	18,48 16,65	18,30 18,24 18,15	18,23	0,08	18,31 18,15					0,41
1 : 5 30% RCD	14	17,61* 16,58 16,40 15,76 15,14*	16,30	0,93	17,23 15,37	16,58 16,40 15,76*	16,25	0,43	16,68 15,82	16,58 16,4	16,49	0,13	16,62 16,36	0,77
1 : 5 50% RCD	14	14,97* 14,89 14,46 14,07 13,63*	14,40	0,56	14,97 13,84	14,89* 14,46 14,07	14,47	0,41	14,88 14,06	14,46 14,07	14,27	0,28	14,54 13,99	1,93
1 : 5 100% RCD	14	12,16 11,91 11,88 11,73 10,78*	11,69	0,53	12,22 11,16	12,16* 11,91 11,88 11,73*	11,92	0,18	12,10 11,74	11,91 11,88	11,90	0,02	11,92 11,87	0,18

* Valores que foram desconsiderados para a nova média DP - Desvio Padrão CV - Coeficiente de Variação

CONCRETO COM ADIÇÃO DE RCD - COMPRESSÃO EM 28 DIAS														
Traço	Dias	Resistência (MPa)	Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	CV (%)
1 : 5 Referência	28	22,74* 20,95 20,88	21,52	1,05	22,58 20,47	20,95 20,88	20,92	0,05	20,96 20,87					0,24
1 : 5 10% RCD	28	22,39* 21,42 21,30 20,99 20,51*	21,32	0,69	22,01 20,63	21,42 21,30 20,99*	21,24	0,22	21,46 21,01	21,42 21,3	21,36	0,08	21,44 21,28	0,40
1 : 5 30% RCD	28	19,86* 19,51 19,25 19,12 18,36*	19,22	0,56	19,78 18,66	19,51* 19,25 19,12	19,29	0,20	19,49 19,09	19,25 19,12	19,19	0,09	19,28 19,09	0,48
1 : 5 50% RCD	28	17,87* 17,66 17,13 17,02 16,59*	17,25	0,51	17,77 16,74	17,66* 17,13 17,02	17,27	0,34	17,61 16,93	17,13 17,02	17,08	0,08	17,15 17,00	0,46
1 : 5 100% RCD	28	14,82* 14,38 14,31 13,80 13,66*	14,19	0,47	14,66 13,72	14,38 14,31 13,80*	14,16	0,32	14,48 13,85	14,38 14,31	14,35	0,05	14,39 14,30	0,35

* Valores que foram desconsiderados para a nova média DP - Desvio Padrão CV - Coeficiente de Variação

APÊNDICE C – Resultados de tração por compressão diametral para o concreto com adição de RCD

CONCRETO COM ADIÇÃO DE RCD - TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL EM 28 DIAS														
Traço	Dias	Resistênci a (MPa)	Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	Resistência (MPa)	Nova Média (MPa)	DP	Limites (MPa)	CV (%)
1 : 5 Referência	28	2,33 2,32 2,24*	2,30	0,05	2,35 2,25	2,33 2,32	2,33	0,01	2,33 2,32					0,30
1 : 5 10% RCD	28	2,52* 2,19 2,18 2,16 1,96*	2,20	0,20	2,40 2,00	2,19 2,18 2,16	2,18	0,02	2,19 2,16					0,70
1 : 5 30% RCD	28	2,45 2,33 2,26 2,22 1,66*	2,18	0,31	2,49 1,88	2,45* 2,33 2,26 2,22	2,32	0,10	2,42 2,21	2,33 2,26 2,22	2,27	0,06	2,33 2,21	2,45
1 : 5 50% RCD	28	2,29* 2,15 2,12 2,05 1,88*	2,10	0,15	2,25 1,95	2,15 2,12 2,05*	2,11	0,05	2,16 2,06	2,15 2,12	2,14	0,02	2,16 2,11	0,99
1 : 5 100% RCD	28	1,75* 1,71 1,70 1,64 1,60*	1,68	0,06	1,74 1,62	1,71 1,70 1,64*	1,68	0,04	1,72 1,65	1,71 1,70	1,71	0,01	1,71 1,70	0,41

* Valores que foram desconsiderados para a nova média DP - Desvio Padrão CV - Coeficiente de Variação

APÊNDICE D – Resultados dos ensaios de absorção de água e índice de vazios

	Concreto Referência (g)			Concreto com 10% RCD (g)			Concreto com 30% RCD (g)			Concreto com 50% RCD (g)			Concreto com 100% RCD (g)		
	Média (g)			Média (g)			Média (g)			Média (g)			Média (g)		
Massa saturada após fervura (m_{SAT})	3634,6	3642,8	3638,7	3675,5	3602,3	3638,9	3711,3	3714,9	3713,1	3672,1	3563,9	3618	3551,1	3589,6	3570,35
Massa seca (m_S)	3411,2	3411,4	3411,3	3416,7	3358,7	3387,7	3441,9	3451,1	3446,5	3406,4	3307,7	3357	3227,9	3286,8	3257,35
Massa saturada imersa (m_I)	2055,9	2056,6	2056,25	2057,6	2021,3	2039,45	2068	2072,7	2070,35	2031,5	1970,9	2001	1923,2	1950,1	1936,65

APÊNDICE E – Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade

		Concreto Referência (g)			Média (g)			Concreto com 10% RCD (g)			Média (g)			Concreto com 30% RCD (g)			Média (g)			Concreto com 50% RCD (g)			Média (g)			Concreto com 100% RCD (g)			Média (g)		
Massa seca (m_s)		3286,6	3218,6	3252,6				3359,8	3374,8	3367,3				3331,6	3260	3295,8				3220,4	3278,7	3250				3162,1	3149,6	3155,85			
Massa saturada (m_{SAT})	3h	3295,2	3233,4	3264,3				3425,3	3408,3	3416,8				3377,1	3299	3338,05				3251,5	3336,4	3294				3215,3	3195	3205,15			
	24h	3316,8	3244,5	3280,65				3463,9	3437,8	3450,85				3409,6	3315,1	3362,35				3267	3380,6	3324				3264,9	3253,4	3259,15			
	48h	3335	3261,3	3298,15				3482,9	3455,6	3469,25				3429,3	3326,3	3377,8				3277,9	3401,5	3340				3290,2	3282,6	3286,4			
	72h	3349,7	3274,1	3311,9				3498,8	3467,3	3483,05				3442,5	3335,1	3388,8				3286	3414,8	3350				3305,5	3299,4	3302,45			



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09